

оплавления; в среде аргона, гелия, воздуха; при использовании газового CO<sub>2</sub> - лазера и твердотельного ИАГ - лазера; различной мощности излучения и др.), а также разных схем поверхностного пластического деформирования (фрикционное нагружение твердосплавным сферическим индентором, воздействие абразивных частиц).

Показана высокая эффективность применения предложенной комбинированной обработки (лазерная закалка + поверхностное пластическое деформирование) для повышения прочности, теплостойкости и износостойкости сталей различного класса. Дополнительное поверхностное деформирование существенно улучшает прочностные и служебные свойства сталей, закаленных лазером.

Положительное влияние комбинированной обработки на прочность, теплостойкость и износостойкость сталей связано с формированием в их поверхностном слое ультрадисперсной структуры  $\alpha$  -мартенсита, претерпевшего деформационное динамическое старение.

Предложенная обработка, не требующая значительных дополнительных материальных и энергозатрат по сравнению с лазерной закалкой, может быть использована для повышения служебных свойств стальных изделий самого широкого профиля.

Для расширения возможностей практического применения предлагаемой обработки целесообразно продолжить исследования в направлении изучения эффективности влияния комбинированной обработки на прочность, теплостойкость и износостойкость деталей из различных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г.Григорьянц, А.Н.Сафонов. Лазерная техника и технология: В 7кн. – Кн. 3 Методы поверхностной лазерной обработки: Учебн.пос. для вузов. М.: Высш.шк., 1987 – 191с.
2. А.М. Гаджиев Поверхностное термическое упрочнение серых чугунов лазерным излучением. Вестник машиностроения. 2000 №4 С.48 – 49.
3. В.М.Ходаковский. Особенности лазерного упрочнения чугунных деталей судовых технических средств. Новые материалы и технологии производства. 2003. №4 С.26 – 29.
4. В.М.Счастливец рук, Л.Г.Коршунов, исп.А.В.Макаров, И.Л.Солодова Использование комбинированной обработки (лазерная закалка и последующее деформационное старение) для повышения износостойкости и теплостойкости стальных поверхностей. Региональная наука, Свердловская обл. 2004.
5. Е.И.Тескер, В.А.Гурьев, С.Е.Тескер, Е.Н.Кондратьев Перспективы применения лазерных технологий для повышения эксплуатационных свойств деталей машин и оборудования. Упрочняющие технологии и покрытия. 2005. №1 С.35 – 38

УДК 621.771.63

*Исаевич Л.А., Малекян М.М.*

## **АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ И СПОСОБОВ ПРОКАТКИ ПОЛОС ПЕРЕМЕННОЙ ПО ДЛИНЕ ТОЛЩИНЫ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

### **Введение**

Различные устройства для получения полос переменной по длине толщины применяются в ряде фирм разных стран. Эти устройства можно разделить на четыре группы: 1)

гидрокопировальная прокатка; 2) автоматическая прокатка с контрольными системами; 3) прокатка на профилированной оправке; 4) проката полос с использованием кулачков.

### Гидрокопировальная прокатка

К первой группе относится устройство [1], включающее прокатную клеть (рис. 1), клиновой нажимной механизм 1 и натяжное устройство с гидроприводом 2 (рис. 1).

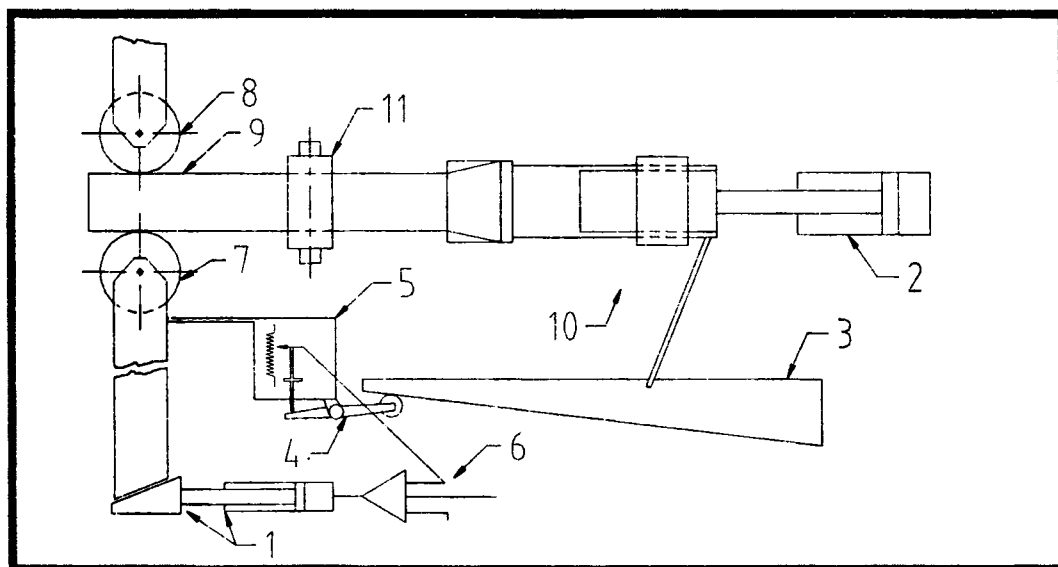


Рисунок 1- Схема прокатки полос переменной толщины в стане с гидрокопировальной следящей системой [1]

Клиновой нажимной механизм управляется натяжным устройством при помощи следящей системы с копиром 3. Копир 3 движется при помощи механизма перемещения заготовки 10, а рычаг 4 постоянно связан с его поверхностью при помощи ролика, который находится на конце рычага. Получаемый сигнал при этом посылается датчику линейных перемещений 5 и потом оттуда передается датчику 6 включения нажимного механизма. Механизм перемещения 1 нижнего валка получает этот сигнал от датчика линейных перемещений 5, и двигает валок 7 синхронно с рычагом 4. Рабочий цикл устройства включает в себя следующие этапы. Верхний валок 8 регулируется для установления заданного положения. Далее заготовка перемещается в направлении валков 7 и 8 гидравлическим цилиндром 2. Затем гидравлический цилиндр возвращает заготовку в исходное положение. В это время нижний валок перемещается механизмом перемещения 1 в соответствии с положением рычага на копиере. Когда закончится первый цикл прокатки, процесс повторяется сначала. Такие последовательные рабочие ходы выполняются до тех пор пока заготовка не приблизится к конечной форме. На предпоследнем этапе ширина заготовки уменьшается между двумя вспомогательными валками 11 на ширину меньшую, чем требуемая конечная ширина, чтобы заготовка приближалась к конечной ширине готовой полосы после последнего этапа прокатки между двумя главными валками 7, 8.

А. Я. Вилсон [2, 3], Л. М. Фасонейсуг-Валзверк [4], М. Кавакуво и другие [5] и А. Ж. Хоеш [6] использовали эту систему без клинового нажимного механизма. В их изобретениях гидроцилиндр непосредственно связан с валками.

Недостатком указанных выше устройств прокатки полос переменной толщины является невозможность получения высокой точности изделий.

### Автоматическая прокатка с контрольными системами

Вторая группа включает в себя устройства [7 - 13], на которых используются контрольные системы. Например, разработанное устройство [12], показанное на рис. 2, представляет собой обычный планетарный прокатный стан 1, прижимные ролики 2, втягивающий зажим 3, механизм управления 4, датчик контроля толщины 5 и датчик позиции 6. Верхний

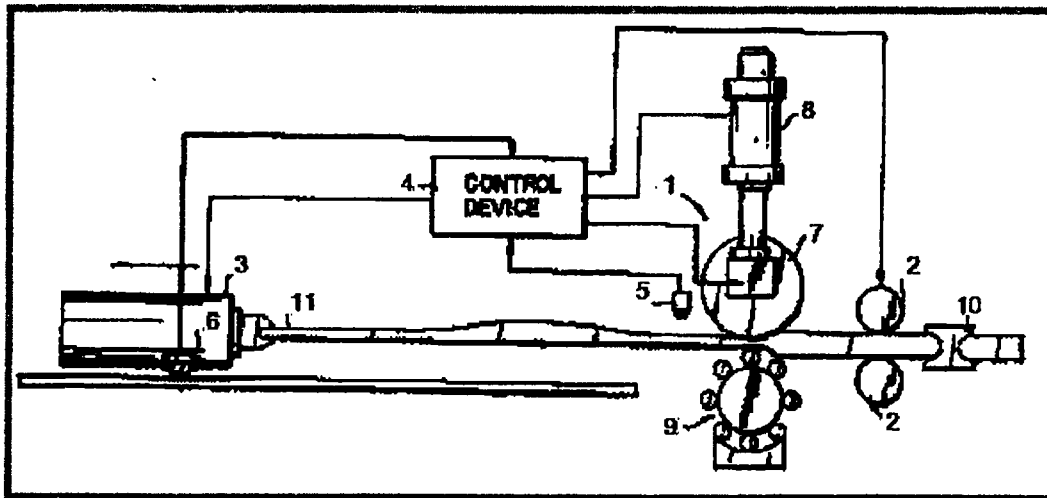


Рисунок 2 - Схема прокатки полос переменной толщины, управляемой контрольной системой [12]

валок 7 обладает способностью перемещаться вертикально цилиндром 8. Прижимные ролики 2 расположена на стороне подачи полосы в прокатный стан.

Втягивающий зажим 3 находится на стороне выхода полосы из валков и обладает способностью двигаться назад и вперед. Гидроцилиндр 8, верхний валок 7, прижимные ролики 2 и втягивающий зажим 3 управляются механизмом управления 4 (рис. 2). Механизм управления 4 включает в себя микрокомпьютер, получающий информацию от датчика контроля толщины 5 и датчика позиции 6. Датчик позиции 6 соединен с втягивающим зажимом 3 и дает сигнал согласно расстоянию перемещения зажима 3. Информация должна корректироваться в связи с возможным нагреванием деталей устройства. Микрокомпьютер сохраняет много видов информации, например, соотношение длины и толщины, характеристики прокатного стана 1 (информацию о корректировании подъема верхнего валка 7 в соответствии с тепловым расширением верхнего валка 7 и планетарного валка 9), изменение длины полосы в результате её охлаждения. Вся эта информация используется микрокомпьютером для автоматической прокатки полос переменной по длине толщины. Процесс включает себе следующие этапы: полоса, удерживаемая прижимными роликами 2, подается в валки 7 и 9 с помощью направляющих роликов 10. Далее происходит обжатие полосы этими валками. Когда конец прокатываемой полосы достигает заранее установленной позиции, втягивающий зажим 3 зажимает конец полосы в ответ на выходной сигнал датчика 5. Затем прижимные ролики 2 разводятся и позволяют полосе свободно перемещаться. На этом этапе полоса подвергается

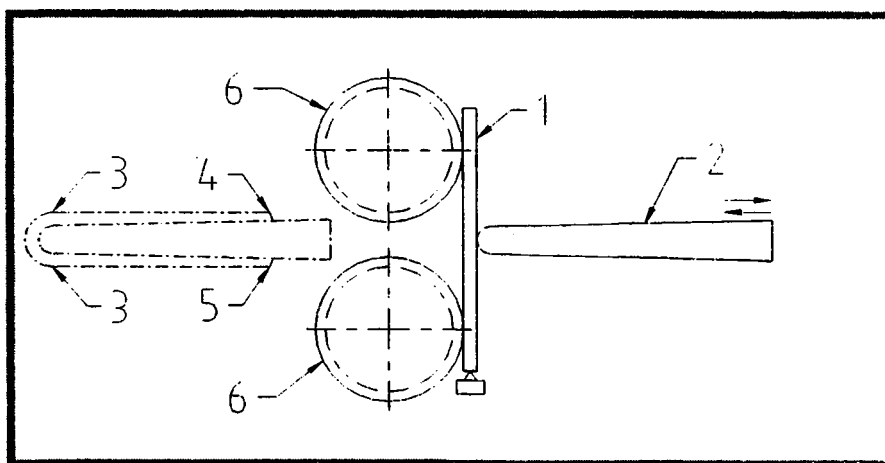


Рисунок 3 - Схемы прокатки или вытяжки с изгибом заготовки [13]

заранее установленному натяжению втягивающим зажимом. Увеличение ширины материала ограничивается вследствие этого натяжения.

Такие системы являются очень гибкими, но они обычно производят прокатку медленно, следовательно, могут возникать нежелательные явления, связанное с охлаждением заготовки. В результате этого явления уменьшается способность заготовки к формоизменению.

### Прокатка на профилированной оправке

Третья группа включает в себя устройства [13 - 15], в которых используют прокатку или вытяжку с поперечным изгибом заготовки. В [13] (рис. 3) горячая заготовка 1 помещается на профильной оправке 2 и задаётся в неприводные валки 6 или фильеру. Нагретая прямая заготовка 1 по рольгангу подаётся к оправке 2 и при её движении изгибается валками 6 до прилегания концов заготовки к оправке. Затем производится прокатка. Деформирование осуществляется неизменным калибром или неприводимыми валками 6 и начинается от срединных частей 3 заготовки, продвигаясь к её концам 4 и 5 одновременно, а оправка имеет возвратно-поступательное движение. После прокатки заготовка снимается с оправки и разгибается специальным механизмом.

Недостатком данного способа является сложность изготовления профильной оправки. Кроме того, большая контактная поверхность между заготовкой и оправкой увеличивает отдачу теплоты заготовки и её охлаждение, что уменьшает способность её материала к формоизменению.

### Проката полос с использованием кулачков

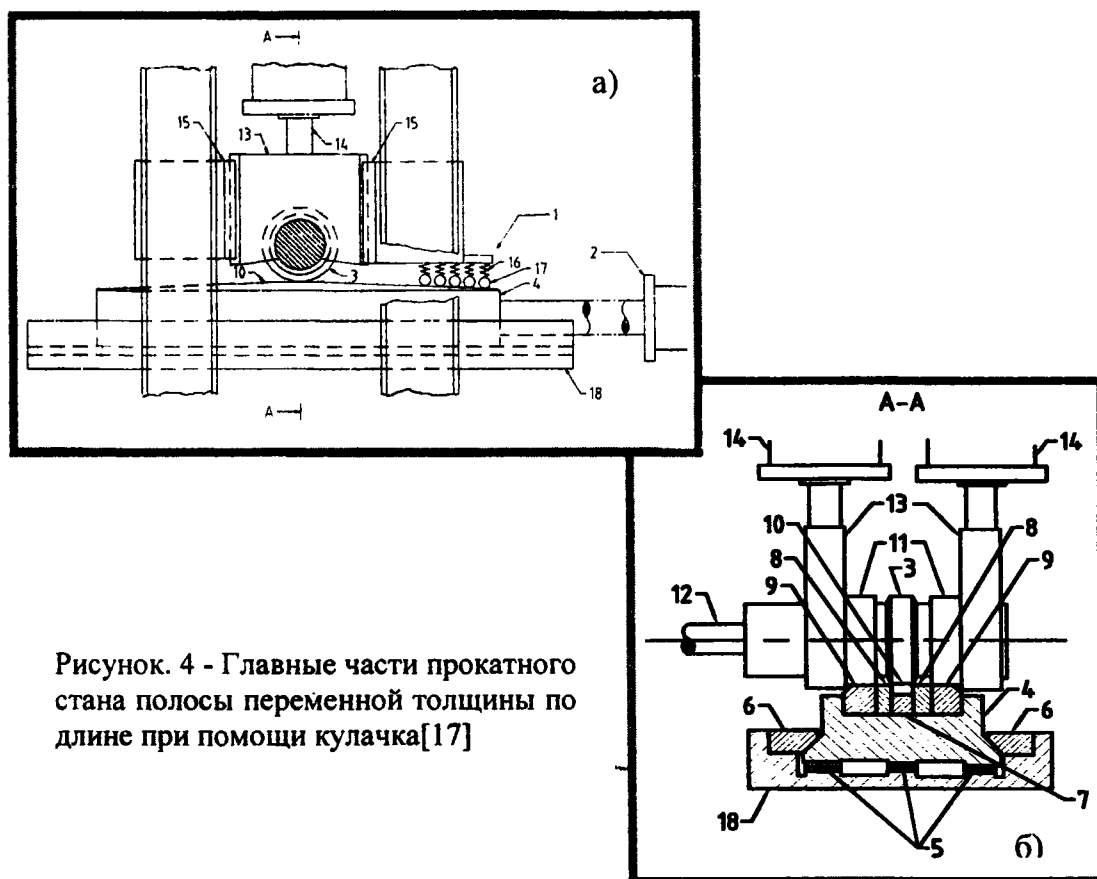


Рисунок. 4 - Главные части прокатного стана полосы переменной толщины по длине при помощи кулачка [17]

Четвёртая группа объединяет устройства [17-24], в которых использован наиболее распространенный способ для промышленного производства различных изделий. Например, разработанное устройство [17] (рис. 4) включает в себя средство 1 для удержания прокатываемой заготовки, гидроцилиндр 2 для её горизонтального движения, а также регулируемый прокатный валок 3 для получения полос переменной по длине толщины. Салазки 4 имеют возвратно-поступательное движение по поверхностям направляющих 5 при помощи гидроцилиндра 2. Планки 6 не позволяют салазкам 4 двигаться в вертикальном направлении. Блоки 7 и 8 штампа и кулачки 9 ограничивают по ширине полосу 10 внутри салазок. Рабочий валок 3 и следящие валки 11 име-

ют одинаковые диаметры и смонтированы на ведомом валу 12. Подшипники 13 вала связаны с гидроцилиндрами 14, чтобы прижимать следящие валки к кулачкам 9. Подшипники 13 могут двигаться между вертикальными направляющими 15, которые находятся на станине устройства.

Рабочий валок 3 поднимается гидроцилиндрами 14, когда салазки 4 находятся в крайней позиции слева, и нагретая заготовка помещается внутрь полости штампа. Затем салазки перемещаются в позицию деформирования, показанную на рис. 4(а), а вал 12 с его комплектующими деталями опускается, чтобы рабочий валок 3 переместился к центральной части заготовки и следящие валки прижимались к кулачкам 9. Салазки 4 движутся налево от позиции (показана на рис. 4а) и, поскольку следящие валки постоянно прижимаются к кулачку 9, заготовка копируется по профилю кулачков. Салазки 4 возвращаются на центральную позицию, а потом другая половина заготовки прокатывается так же. В течение этого этапа пружины 16 ролики 17, действующие на заготовку, не позволяют подниматься её заднему концу

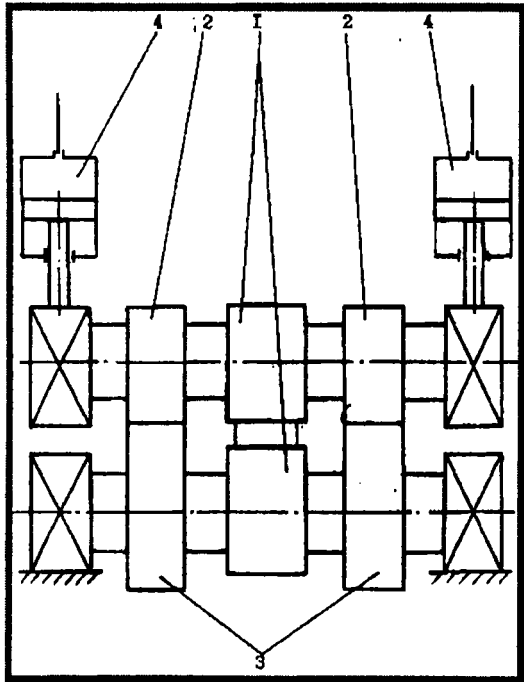


Рисунок 5 - Схема прокатки периодического профиля в валках постоянного профиля [24]

В альтернативном конструктивном исполнении рабочий валок и следящие валки могут быть в качестве одного валка, которые с блоками кулачка составляют ограничивающие поверхности для заготовки.

Недостатком данных способов является большая контактная поверхность между заготовкой и блоками штампа, которая увеличивает отдачу теплоты заготовки в блок штампа и тем самым усиливает её охлаждение, что вызывает повышение сопротивления деформированию и как следствие износ деформирующего инструмента.

Другой вариант такой схемы прокатки [24] показан на рис. 5. Валки 1 постоянного радиуса совмещены с опорными бандажами 2 и профильными кулачками 3. В процессе прокатки бандажи прижаты постоянно к профильным кулачкам за счет гидравлического устройства 4 с усилием, превышающим усилие деформирования металла. Благодаря поддержанию постоянного контакта профильных кулачков с опорными бандажами обеспечивается изменение зазора между валками по заданной программе.

Недостатком указанного выше устройства является скольжение между профильными приводными кулачками 3, имеющими переменный радиус, и опорными приводными бандажами 2 с постоянным радиусом. В результате происходит износ кулачков, что затрудняет получение высокой точности изделия.

**Выводы**  
Анализируя приведенные выше схемы прокатки, можно сделать вывод, что копирование получаемого в прокатанной полосе профиля рессорных листов с помощью кулачковых механизмов является достаточно простым и эффективным процессом. Однако наличие скольжения в кулачковых механизмах как вредного фактора приводит к необходимости его устранения путем использования другого конструктивного исполнения прокатного стана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 3793868 США, МКИ В21Н7/00. Taper-rolling of metal / A.Wilson — 14 с.: ил.
2. Патент 1380691 Великобритания, МКИ В21Н7/00. Taper-rolling of metal / A.I.Wilson

(GB) – 15 с.: ил. 3. Патент 4959099 США, МКИ В21Н7/00. Taper rolling of metal / A.Wilson – 9 с.: ил. 4. Патент 78827 ФРГ, МКИ В21Н7/00. Walzwerk zum walzen von dünnem scharf und fein profilirtem walzgute / L.Mannstaedt (BRD) – 6 с.: ил. 5. Патент 4290288 США, МКИ В21В37/14. Device for narrowing the breadth of a sheet spring material in an apparatus for manufacturing a taper leaf spring / M.KAWAKUBO, Y.SAKAI, A.OHNO (Japan) – 8 с.: ил. 6. Патент 1017706 Великобритания, МКИ В21Н7/00. Improvements in the shaping of metal bars / (GB) – 6 с.: ил. 7. Патент 58209404 Япония, МКИ В21В13/02. Taper rolling device / I.Yamamoto; K.Kinoshita; M.Morita (Japan) – 5 с.: ил. 8. Патент 60231519 Япония, МКИ В21В37/24. Taper rolling device for leaf spring / S.Suzuki, T.Furuyama, M.Kawarubo (Japan) – 5 с.: ил. 9. Патент 4512169 США, МКИ В21В37/72. Automatic plate thickness control device / K.Miura (Japan) – 9 с.: ил. 10. Патент 55024758 Япония, МКИ В21В1/38. Taper rolling control unit / M.Uechi, K.Tanaka – 5 с.: ил. 11. Патент 57152303 Япония, МКИ В21В1/22. Rolling method for strip having differential thickness / R.Terakado – 4 с.: ил. 12. Патент 4266418 США, МКИ В21В37/24. Method for manufacturing a taper spring / Y.Sakai, J.Takahashi (Japan) – 8 с.: ил. 13. Патент 3417592 США, МКИ В21Н7/00. Taper-rolling of metals / R.Fielding – 5 с.: ил. 14. Патент 5001918 США, МКИ В21Д7/04. Method and apparatus for making blanks of a profile varying lengthwise / A.V.Stepanenko, V.A.Korol, G.A.Isaevich, A.P.Grechenko, S.S.Benedis, S.S.Poplavski; I.M.Shimanovich, V.L.Markhasin (USSR) – 19 с.: ил. 15. Патент 6012320 США, МКИ В21Д7/02. Leaf spring straightening apparatus / A.V.Stepanenko, V.A.Korol, A.P.Grechenko (Belarus) – 6 с.: ил. 16. Патент 6173599 США, МКИ В21Д7/02. Leaf spring straightening apparatus / A.V.Stepanenko (Belarus), V.A.Korol (Belarus), A.P.Grechenko (Belarus) I.E.Dzieciol (CA), J.C.Waugh (CA), J.J.Murtach (CA) – 10 с.: ил. 17. Патент 974990 Великобритания, МКИ В21Н7/00. Taper roll machine and method / (GB) – 13 с.: ил. 18. Патент 582094044 Япония, МКИ В21В1/38. Taper rolling device / I.Yamamoto, K. Kinoshita, M. Morita (Japan) – 5 с.: ил. 19. Патент 3199327 США, МКИ В21Н7/00. Machine for making single leaf springs and the like / F.R.KRAUSE (США) – 6 с.: ил. 20. Патент 3824829 США, МКИ В21В13/09. Roll mill with shifting cams for shaping bars / J.Miller (США) – 5 с.: ил. 21. Патент 400899 Великобритания, МКИ В21В38/10. Improvements in or relating to means for adjusting or indicating the magnitude of the gap between the rolls in rolling mills / – 7 с.: ил. 22. Патент 1273476 ФРГ, МКИ В21Н7/00. Taper roll machine and method / R.H.Groves, R.R.Greene, J.D.Boadk / (ФРГ) – 5 с.: ил. 23. Патент 3499305 США, МКИ В21Н7/00, В21Н7/00, (IPC1-7): В21В37/14, В21В31/30. Rolling mill and method of rolling strips / T.W.ABERNATHY (США) – 5 с.: ил. 24. А. С. 564068 СССР, МКИ В21НВ/00. Стан для прокатки профилей переменного сечения / О.Г.Кидимник, М.Л.Чеповидцкий, Н.И.Белицкий и др. (СССР). – 4 с.: ил

УДК 621.771

*Щукин В.Я., Исаевич Л.А., Кожевникова Г.В.*

## **СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА И ДЕФОРМАЦИИ В ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ПОПЕРЕЧНОЙ ПРОКАТКЕ**

*БНТУ, ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь*

С применением численного метода построим кинематически и статистически корректное поле линий скольжения (ЛС) при поперечной прокатке (ПП). Определим скорости течения металла в очаге деформаций и проанализируем распределение деформаций в пластической области.

Рассмотрим особенности поля ЛС (рис. 1) при ПП. Жесткая область  $KNL'$  вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг центра  $O_1$ , область  $LPK'$  – вокруг центра  $O_2$ .