

СПОСОБ РЕЛИЗАЦИИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В НОВОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРОВ «РОМБ– КВАДРАТ» И РАЗРАБОТКА КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ, ВАЛКОВОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ПРОКАТКИ КАТАНКИ

METHOD OF A RELIZATION OF SEVERE PLASTIC DEFORMATION IN THE NEW SYSTEM OF CALIBRATION "A RHOMBUS – A SQUARE" AND DEVELOPMENT OF CALIBRATION OF ROLLS AND ROLLER FITTINGS FOR WIRE ROD ROLLING

А.Б. Найзабеков, Б.Б. Быхин, К.А. Ногаев, С.Н. Лежнев, М.Ж. Кукимов, М.А. Нурдаулетова, М.К. Магжанов
(Карагандинский государственный индустриальный университет, г.Темиртау, Республика Казахстан, kgiu@mail.ru)

Abstract

The new method of realization of severe plastic deformation is presented in article in new system of calibers "a rhombus – a square" and results of comparative modeling of a stress of metal when rolling on traditional system and new system of an arrangement of calibers "a rhombus – a square". Results of calculation of calibration of rolls and roller fittings for wire rod rolling are given.

В настоящее время при прокатке заготовок и сортовых профилей, как в черновых, так и в чистовых проходах линейных, последовательных и непрерывных станов широко используют традиционную систему калибров «ромб-квадрат» (рисунок 1,а), где ромбический, так и квадратный калибр на валках располагают диагонально относительно продольной оси валков [1]. Однако при использовании этой системы калибров имеет место значительная неравномерность деформации по толщине и ширине прокатываемой полосы и чрезмерная вытянутость зерен в направлении длины, в результате чего в готовом прокате формируется анизотропия механических свойств в продольном и поперечном направлениях. Причиной этого является появление на контактной поверхности взаимодействия металла со стенками калибра так называемых «подпирающих сил» трения, векторы которых всегда направлены против направления течения металла, эти силы оказывают сопротивляющееся действие по отношению к внешней нагрузке и увеличивают общее усилие прокатки и суммарные энергозатраты. При этом формоизменение происходит за счет деформации сжатия по толщине и удлинения в направлении продольной оси заготовки при незначительном уширении крайних участков кромок полосы в поперечном направлении. Кроме того, такое действие контактных сил трения в сочетании с влиянием малого значения фактора формы очага деформации [2] в традиционных системах калибров вызывает недостаточное развитие пластической деформации в осевой зоне металла, т.е. там, где имеются наиболее пораженные дефектами участки исходного слитка и непрерывнолитой заготовки – осевая рыхлость, газовые пузыри, дендритная ликвация и др.

Для устранения таких дефектов потребуется многопроходная деформация через системы традиционных калибров со значительным уменьшением площади поперечного сечения прокатываемой полосы, что в целом приводит к снижению производительности прокатного стана и увеличению уровня суммарных материальных и

энергетических затрат. При этом формирование углов ромбов и квадрата во всех проходах связано с одними и теми же участками деформируемой полосы, что приводит к более ускоренному охлаждению этих участков и, как следствие, более интенсивному износу зон стенок калибров, непосредственно контактирующих с углами полосы.

Улучшения качества металлопродукции при существенном уменьшении энергетических и трудовых затрат можно достичь новыми способами ОМД, реализующими интенсивные пластические деформации (ИПД), в которых затрачивается меньшее количество энергии на деформацию, достигается максимально возможная и однородная проработка металла по сечению, обеспечиваются получение структуры с заданными физико-механическими свойствами, заваривание несплошностей и т. п.

На кафедре «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета разработан способ реализации интенсивной пластической деформации при сортовой прокатке с использованием системы калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра относительно продольной оси валков таким образом, что две противоположные стороны ромба располагаются параллельно оси валков, а две другие стороны ромба под углом к осям валков (рис. 1,б).

Прокатка в ромбическом калибре с недиагональным расположением ромба осуществляется следующим образом. Исходная заготовка квадратного сечения 1 (рис. 2), в первом проходе подается к ромбическому калибру 2 верхним и нижним основаниями параллельно осям валков. В очаге деформации заготовка подвергается интенсивной сдвиговой деформации в поперечном направлении благодаря асимметричному воздействию наклонных стенок ромбического калибра со стороны верхнего и нижнего валков и высотному обжатию на цилиндрических участках калибра валков.

В результате в очаге деформации в поперечном направлении возникают две пластические потоки вытеснения с интенсивным сдвигом с противоположными векторами течения – со стороны верхнего валка сдвиг идет слева направо, а со стороны нижнего валка – справа налево. Границей раздела этих сдвигов является плоскость большой диагонали ромба. При этом внутренние дефекты заготовки, расположенные в окрестности этой плоскости легко устраняются действием противоположно направленной сдвиговой деформации. Поскольку центр этой плоскости в процессе прокатки совпадает с осевой частью слитка или литой заготовки, то воздействию разнонаправленных сдвиговых деформаций подвергаются дефекты литья – осевая рыхлость, газовые пузыри и дендритная ликвация, которые дробятся, измельчаются, испытывают вращение по плоскости, одновременно подвергаясь сжатию за счет высотной деформации. В результате происходит интенсивное «залечивание» указанных дефектов исходного металла.

Осуществляя прокатку в предлагаемой системе «ромб-квадрат» по схеме, указанной на рисунке 2, за четыре прохода можно получить один полный цикл обработки со знакопеременной сдвиговой деформацией с одновременным высотным обжатием во всех четырех калибрах. Это позволит реализовать существенную проработку поперечного сечения во всем объеме прокатываемого металла с одновременным снижением вредного действия контактных сил трения в ромбических калибрах. Кантовка раската в каждом последующем проходе приводит к обновлению углов полосы непосредственно контактирующих со стенками калибров, что предотвращает локальное переохлаждение

отдельных участков полосы, благодаря чему уменьшается интенсивность износа калибров.

При необходимости весь процесс прокатки можно осуществить за несколько аналогичных циклов, что зависит от требований, предъявляемых к качеству металла, и соотношения размеров исходной заготовки и конечной продукции.

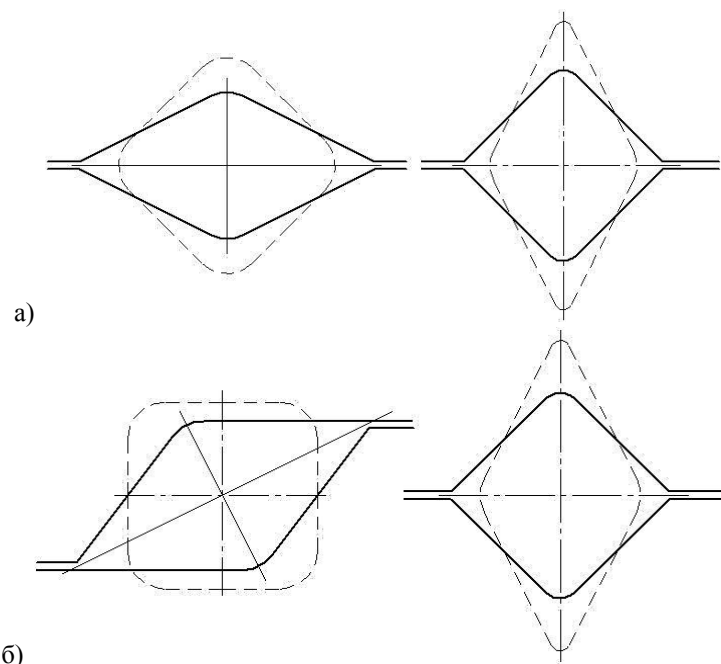
Для исследования напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов при прокатке в ромбических калибрах применили программный комплекс DEFORM 3D, являющийся лидером в области моделирования процессов обработки металлов давлением. Рассмотрены два варианта расположения ромбических калибров (рис. 1): с традиционным и недиагональным расположением калибров в бочке валка.

Моделирование процессов прокатки, с помощью программы DEFORM 3D включает несколько этапов:

- создание трехмерной геометрической модели, а на ее основе – геометрической конечно-элементной модели;
- описание внешних воздействий и граничных условий для конечно-элементной модели;
- расчет и анализ полученных результатов.

В системе КОМПАС 3D разработаны трехмерные геометрические модели заготовок с размерами 40x40x200 мм и рабочих валков с рассматриваемыми вариантами расположения ромбических калибров.

Полученные геометрические модели валков и заготовки, задаваемой в калибр, перенесли в препроцессор программы DEFORM 3D, где они были преобразованы в геометрические конечно-элементные модели (рис. 3).



а – традиционная система калибров «ромб-квадрат»; б – ромбический калибр с недиагональным расположением в сочетании с традиционным квадратным калибром

Рис. 1 – Виды систем калибров «ромб-квадрат»

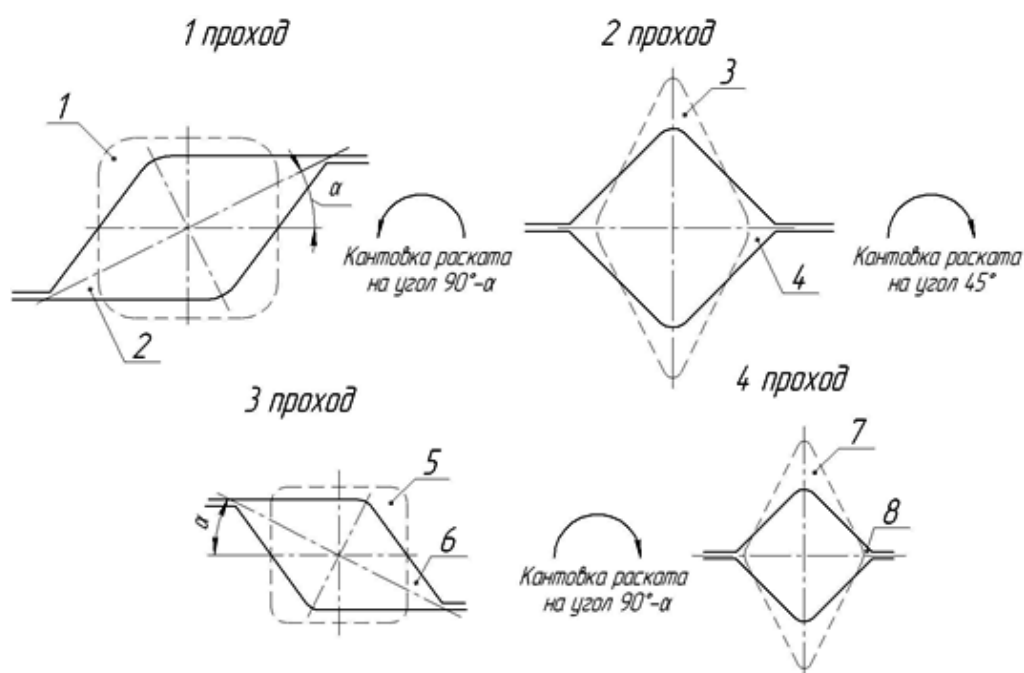
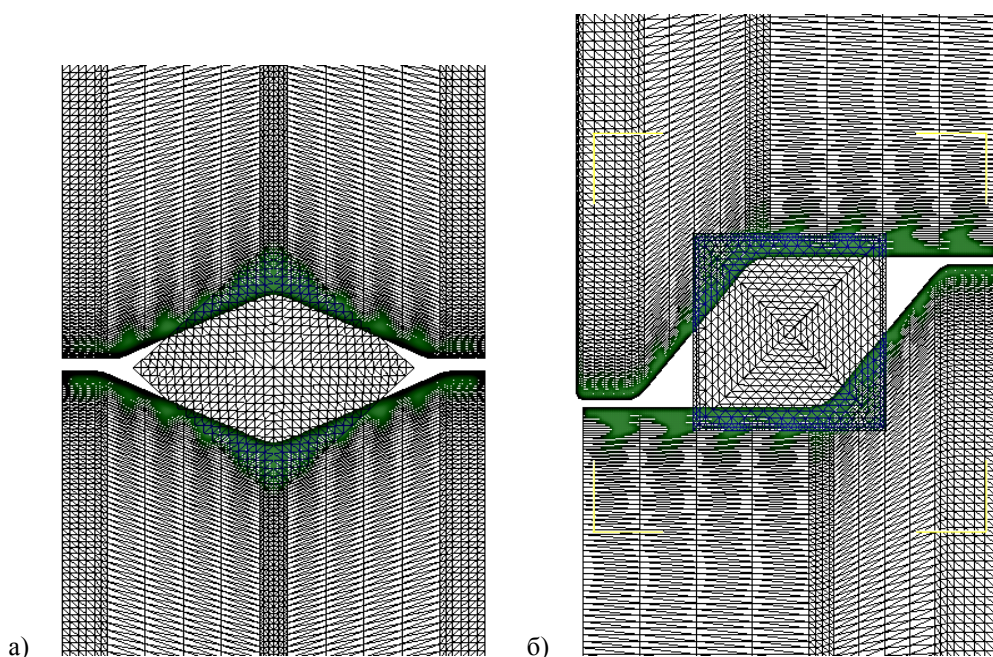


Рис. 2 – Последовательность прокатки в предлагаемой системе калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра



а) с диагональным расположением; б) с недиагональным расположением.

Рис.3 – Геометрические конечно-элементные модели процесса для прокатки в калибре

Создания базы данных расчета выполняли в следующей последовательности:

1) Спозиционировали объекты в пространстве. В нашем случае оси валков располагали в одной вертикальной плоскости, расстояния между валками (зазоры) устанавливали в каждом конкретном случае с учетом размеров калибра.

2) Указали реологическую модель деформируемого металла. В данном случае была принята жестко-пластическая модель, которая позволяет получить адекватные результаты, затратив минимальное количество расчетного

времени. Деформируемый металл считали несжимаемым, для чего устанавливали компенсацию объема.

3) Назначили механические свойства материала заготовки. В качестве материала заготовки принят аналог стали Ст3сп с библиотеки материалов программы, с соответствующими механическими характеристиками.

4) Температуру деформирования заготовки приняли равной 1100°C, при которой сталь традиционно проводится горячая прокатка стали Ст3сп.

5) Задали контактное взаимодействие инструмента и заготовки. Условия контактного взаимодействия принимали по Кулону с коэффициентом трения $\mu=0,5$, характерной для случая горячей прокатки сталей.

6) Кинематические граничные условия для лабораторного экспериментального стана назначили в соответствии с характеристикой экспериментального стана «ДУО-200» где номинальный диаметр вала составляет 200 мм, мощность двигателя 22 кВт, скорость вращения двигателя 975 об/мин, передаточное число редуктора 27,5.

С учетом введенной исходной информации методом конечных элементов решали задачу по моделированию процессов прокатки в традиционном ромбическом калибре и в ромбическом калибре с недиагональным расположением ромба. В результате моделирования получены значения всех компонент тензоров деформаций и напряжений, эквивалентные напряжения и деформации.

Сравнительный анализ распределения гидростатического давления по сечению полосы показывает, что при прокатке в новых ромбических калибрах очаг деформации находится преимущественно под действием сжимающих напряжений (рис. 4,б). Схема всестороннего сжатия, обеспечиваемая при прокатке в новых калибрах, особенно в осевых зонах полосы, которые характеризуются пониженной прочностью вследствие объективных закономерностей кристаллизационных процессов, гарантирует отсутствие макро- и микротрещин в металле и благоприятствует максимальной степени пластичности деформируемой заготовки. Картина распределения гидростатического давления при прокатке в традиционных ромбических калибрах (рис. 4,а) показывает, что значительная область в очаге деформации прилегающие к стенкам калибра, находятся под воздействием растягивающих напряжений. Это может привести к вскрытию металла и появлению трещин в указанных зонах.

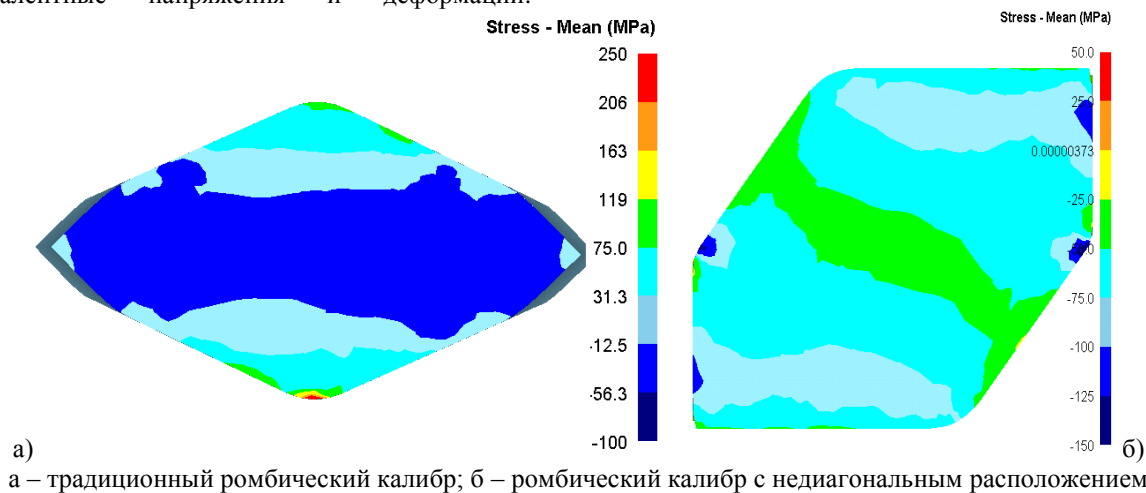


Рис. 4 – Распределение гидростатического давления

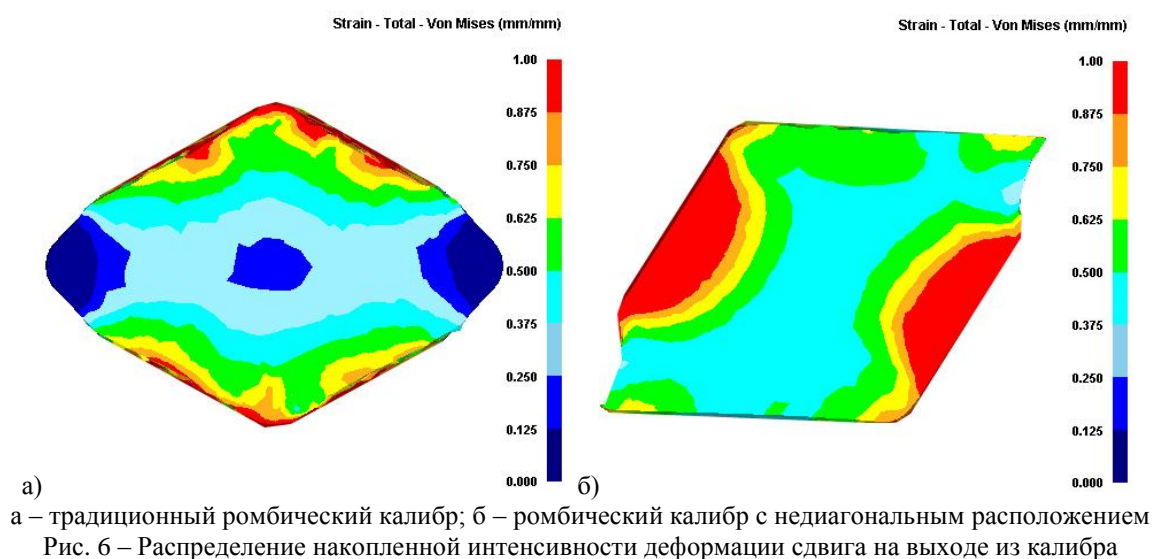
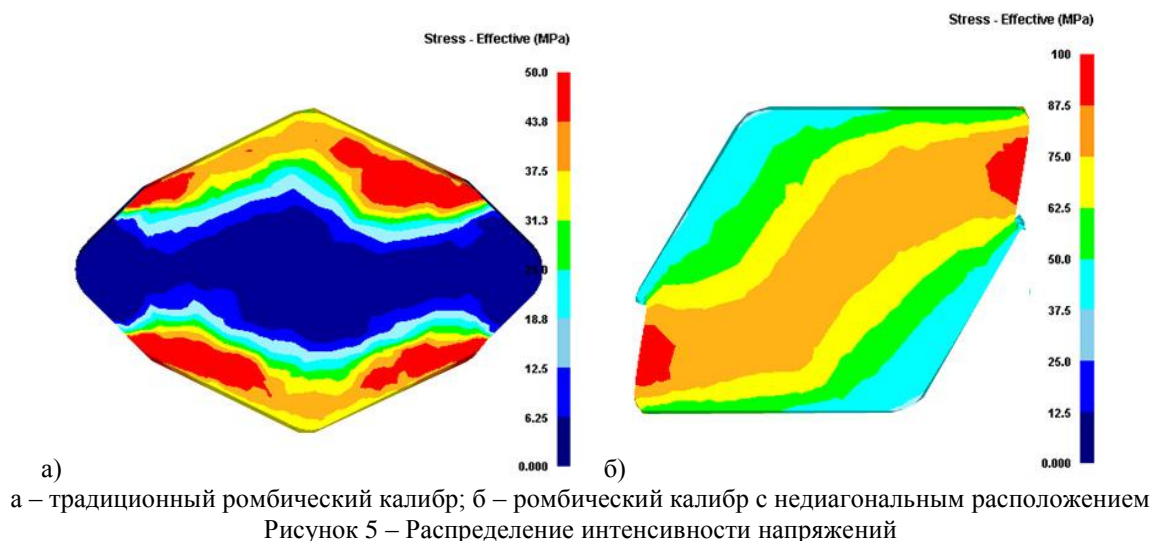
При прокатке в традиционном ромбическом калибре характер распределения интенсивности напряжений имеет симметричный вид относительно вертикальной и горизонтальной осей полосы. При этом зоны максимальных значений интенсивности напряжений локализованы вблизи боковых стенок калибров и меняется в пределах от 43 до 60 МПа, а в осевой зоне по всей ширине полосы значения интенсивности напряжений не превышает 6 МПа (рис. 5,а). Столь низкое значение интенсивности напряжений в осевой зоне является причиной недостаточно полной проработки структуры металла в этой области.

При прокатке новом ромбическом калибре по всей ширине большой диагонали ромбической полосы значение интенсивности напряжений имеет существенно высокий уровень по сравнению с традиционной схемой прокатки, достигая до 75-87 МПа (рис.5,б). На остальных участках сечения

уровень интенсивности напряжений имеет также достаточно высокие значения (37,5 до 75 МПа). Это обуславливает интенсивную проработку структуры металла по всему объему металла.

Характер распределения накопленной интенсивности деформации сдвига на выходе из калибра для традиционной и новой схемы прокатки существенно отличаются друг от друга.

При традиционной схеме прокатки в осевой зоне по ширине полосы имеются локализованные участки с низкой интенсивностью деформации сдвига: в центре заготовки в пределах 0,125-0,25, по краям большой диагонали полосы менее 0,125 (рис. 6,а). В остальных участках осевой зоны интенсивность деформации меняется от 0,25 до 0,375. Наиболее интенсивные деформации наблюдаются только на небольших участках ближе к вершине калибра и составляют 0,75-1,0.



При прокатке в ромбических калибрах с недиагональным расположением благодаря воздействию боковых наклонных стенок калибра полоса подвергается макросдвиговой деформации в противоположных направлениях со стороны верхнего и нижнего валков, что вызывает более высокий уровень реализации интенсивной сдвиговой деформации по сравнению с традиционной схемой прокатки. При этом минимальный уровень интенсивности логарифмической деформации сдвига не ниже 0,375 (рисунок 6,б). В осевой зоне по линии длинной диагонали ромба интенсивность деформации сдвига меняется от 0,375-0,5. Участки с максимальным уровнем интенсивности деформации сдвига расположены на наклонных участках ромба и составляет 0,75-1,0.

Сравнительная оценка эффективности проработки деформируемого металла по зонам рассматриваемого сечения показывает, что при прочих равных условиях обеспечивается почти 1,5 кратное повышение эффективности проработки структуры металла.

Немаловажным является также то, что при прокатке на новых калибрах накопленная

интенсивность деформации сдвига распределена более равномерно чем, при традиционной схеме прокатки. Снижение степени неравномерности при новом способе прокатки обеспечивает более качественные показатели готовой продукции.

Калибровка валков для прокатки катанки

Новую систему калибров «ромб-вадрат» использовали для прокатки катанки в полупромышленном двухклетевом сортовом стане «ДУО 200/150», установленном в лаборатории кафедры «ОМД» Карагандинского государственного индустриального университета

При проектировании конструкции валков и расчете калибровки ромбических калибров с недиагональным расположением возникает необходимость определения геометрических параметров калибра с учетом угла наклона ромба относительно оси валков. При этом степень проработки структуры металла при прочих равных условиях существенным образом зависит от уровня сдвиговых компонент деформации в каждом ромбическом калибре, что в свою очередь определяется величиной угла наклона стенки ромбического калибра. Согласно оценкам ранее

проведенных исследований оптимальное значение угла наклона инструмента находится в интервале 30-40° [4].

Основными геометрическими параметрами ромбического калибра являются:

- 1) сторона ромба c_p ;
- 2) угол при вершине ромба β ;
- 3) длинная диагональ ромба или ширина калибра b_p ;
- 4) короткая диагональ ромба или высота калибра h_p ;
- 5) площадь калибра ω_p .

Для установления зависимости этих параметров ромбического калибра валков и следовательно ромбического раската от размеров исходной заготовки и заданного угла сдвига, рассмотрим схему взаимодействия задаваемой квадратной заготовки с ромбическим калибром (рис. 7).

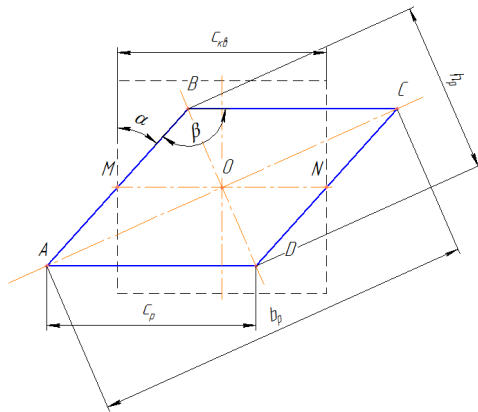


Рис. 7 - Схема взаимодействия задаваемой квадратной заготовки с ромбическим калибром

$$h_p = 2 \cdot c_p \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = 2 \cdot c_{kv} \cdot \cos\left(\frac{90^\circ + \alpha}{2}\right), \quad (3)$$

$$b_p = 2 \cdot c_p \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = 2 \cdot c_{kv} \cdot \sin\left(\frac{90^\circ + \alpha}{2}\right). \quad (4)$$

Известно, что площадь ромба определяется как

$$\omega_p = \frac{1}{2} h_p \cdot b_p$$

$$\omega_p = c_p^2 \cdot \sin\beta = c_{kv}^2 \cdot \sin(90^\circ + \alpha) = c_{kv}^2 \cdot \cos\alpha. \quad (4)$$

Используя эту формулу можно выразить коэффициент удлинения λ в ромбическом калибре через заданный угол сдвига

Из рис. 7 видно, что средняя линия ромба MN равна стороне задаваемого квадрата, следовательно, сторона ромба c_p также равна стороне квадрата c_{kv} .

$$c_p = c_{kv}. \quad (1)$$

Необходимость такого равенства их размеров обусловлена тем, что при прокатке:

1) исключается первоначальное защемление заготовки в калибре;

2) обеспечивается совпадение линии прокатки и нейтральной линии калибра.

Угол при вершине ромба β связан с углом наклона стенки калибра α (углом сдвига) следующим соотношением:

$$\beta = 180^\circ - (90^\circ - \alpha) = 90^\circ + \alpha; \quad (2)$$

Из треугольника АОВ имеем

$$\frac{h_p}{2} = c_p \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right),$$

$$\frac{b_p}{2} = c_p \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right).$$

или, подставляя (1) и (2)

Подставляя (3) и (4) в формулу площади ромба и преобразуя, имеем

$$\lambda = \frac{\omega_{kv}}{\omega_p} = \frac{c_{kv}^2}{c_{kv}^2 \cdot \cos\alpha} = \frac{1}{\cos\alpha}, \quad (5)$$

Таким образом, при предлагаемой схеме прокатки коэффициент удлинения λ в ромбическом калибре не зависит от геометрических размеров калибра, а определяется только значением угла сдвига.

Расчет калибровки валков для других калибров (черновых, предчистового и чистового)

ведется по традиционным методам калибровки валков [1,4].

В результате расчета калибровки валков установлены, что катанки диаметром 10 и 12 мм можно получить из квадратной заготовки 40х40х200 мм за 10 проходов. Схема калибровки валков для катанки диаметром 12 мм представлена на рис.8

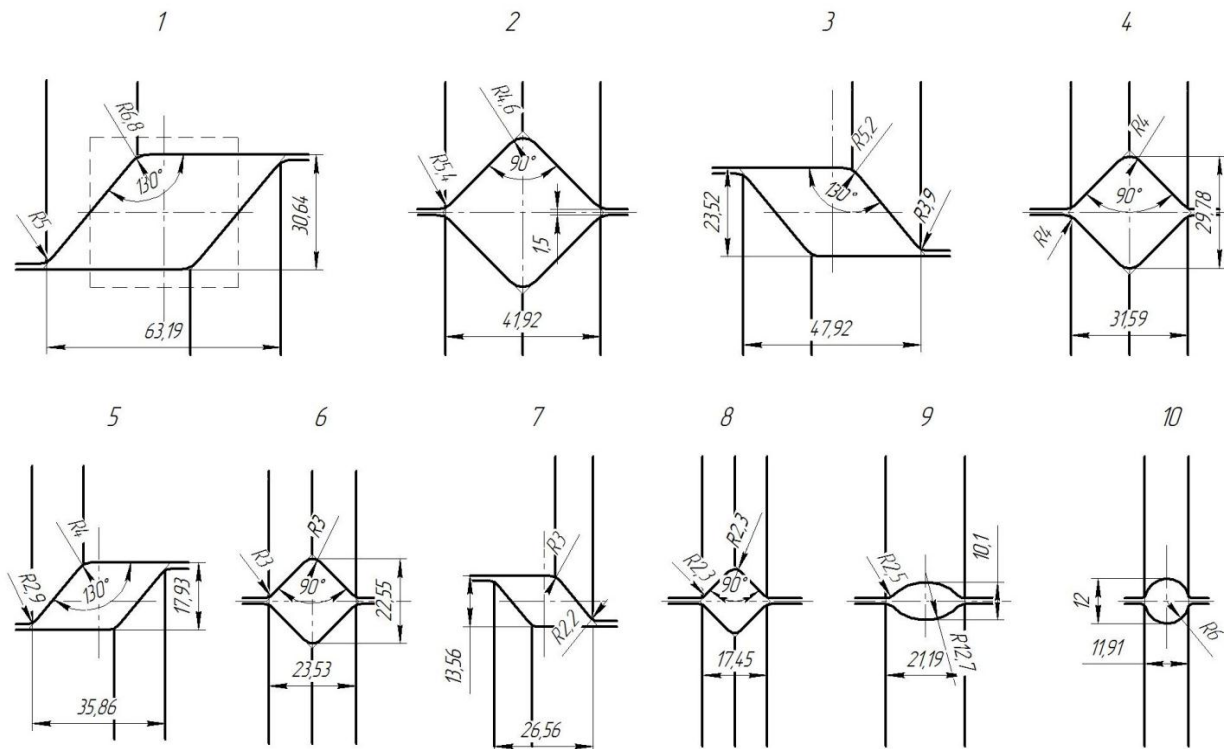


Рис. 8 - Схема калибровки валков для прокатки катанки на лабораторном полупромышленном стане «ДУО-200/150»

Разработка конструкции проводковой арматуры для калибров валков

Проводковая арматура для калиброванных валков являются важными вспомогательными устройствами к каждому калибру валка, которые служат для направления прокатываемой полосы в соответствующий калибр, устойчивого удержания ее на линии прокатки во время прохождения через калибр, предотвращения от возможного смещения полосы относительно оси калибра, сваливания и скручивания при деформации, а также обеспечения прямолинейного выхода полосы из данного калибра без изгиба и травмирования поверхности прокатываемого металла.

Проводковая арматура располагаются как с передней, так и с задней стороны каждого калибра и соответственно состоит из вводных и выводных элементов – проводок, линеек, пропусков и проводковых столов.

Совместная работа вводной и выводной проводковой арматуры во взаимодействии с калибром валка через прокатываемую полосу, обеспечивает нормальный процесс прокатки без сбоев и требуемый уровень качества выпускаемой продукции.

Одним из этапов разработки конструкции проводковой арматуры является создание рабочих чертежей на их изготовление. Сложность создания этих чертежей состоит в том, что в элементах проводки имеются сложные криволинейные поверхности, обусловленные необходимостью достаточно плотного прилегания проводок к поверхностям рабочих валков. Определение форм и размеров криволинейных поверхностей без реального прототипа является весьма сложной задачей. Современным решением этой задачи можно считать визуализацию изделия на компьютере с помощью систем трехмерного моделирования. Получаемая при этом, пространственная геометрическая модель (3D модель) изделия, является более наглядным способом представления оригинала. Использование геометрических 3D моделей делает возможным быструю и точную визуализацию объектов, что позволяет выявить ошибки проектирования уже на ранних этапах.

При разработке конструкций проводковой арматуры для калибров валков (рис.8) [5], реализующих интенсивную пластическую деформацию (ИПД) металла, нами была использована система трехмерного моделирования

КОМПАС-3D, которая предназначена для создания трёхмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Программы данного семейства, также, автоматически генерируют ассоциативные виды трёхмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже.

Создание 3D модели элементов проводковой арматуры осуществляется в следующей последовательности:

1) Начерчивается эскиз поперечного сечения элемента проводки и с помощью команды «выдавливания» получается основа для создания 3D модели.

2) Начерчивается эскизы продольных сечений рабочих валков и с помощью команды «вырезать элемент вращения» формируются соответствующие криволинейные поверхности элемента проводки.

3) Путем использования команд «смещенная плоскость» и «вырезать элемент выдавливания» создается полка для закрепления проводки на столе.

Полученная таким образом, 3D модель элемента проводковой арматуры для 8 калибра рабочих валков показана на рис. 9. Используя полученную 3D модель, разрабатываем рабочий чертеж на изготовление элемента проводки (рис. 10), создавая ассоциативные виды с необходимыми местными разрезами и местными видами.

Аналогично для остальных калибров разработаны рабочие чертежи проводов.

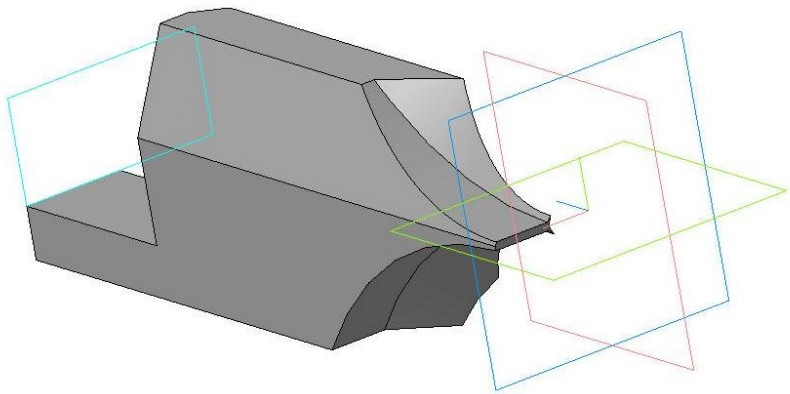


Рис. 9 - 3D модель элемента проводковой арматуры для 8 калибра рабочих валков

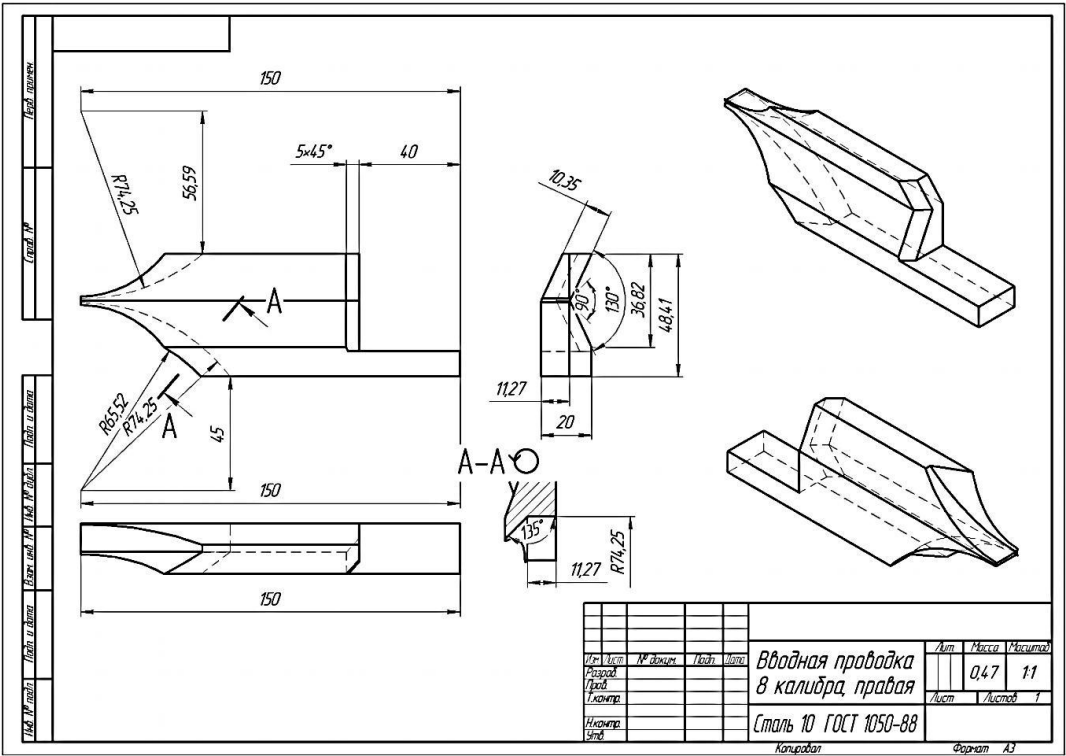


Рис. 10 – Рабочий чертеж элемента проводковой арматуры для 8 калибра рабочих валков

Выводы

- 1) Даны характеристики новой системы калибровки валков, которая позволяет реализовать интенсивную деформацию при горячей прокатке катанки;
- 2) Представлена схема калибровки валков для прокатки катанки на лабораторном экспериментальном прокатном стане «ДУО-200/150»;
- 3) Разработаны конструкции проводковой валковой арматуры для прокатки катанки.

Список литературы

1. Смирнов В.К., Шилов А.В., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. М.: - Металлургия, 1987, 368 с.
2. Грудев А.П. Теория прокатки. Москва: Интермет Инжиниринг, 2001
3. Найзабеков А. Б. Научные и технологические основы повышения эффективности процессовковки при знакопеременных деформациях. Алматы: Изд.-во РИК по учебной и методической литературе, 2000.–336 с.
4. Диомидов Б. Б., Литовченко Н. В. Калибровка прокатных валков. М. «Металлургия», 1970. 312 с. с ил.
5. Найзабеков А.Б., Быхин М.Б., Ногаев К.А., Быхин Б.Б. Выбор и обоснование схемы деформации, реализующей ИПД при горячей прокатке катанки. / Технология производства металлов и вторичных материалов. – Темиртау: Изд. КГИУ, 2012. №2