

РАЗДЕЛ III ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.777; 004.942

Найзабеков А. Б.
Лежнев С. Н.
Панин Е. А.
Крупенькин И. И.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ТОЛСТОГО ЛИСТА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На современном этапе развития металлургической отрасли учеными и технологами промышленных предприятий, входящих в данную отрасль, большое внимание уделяется разработке и исследованию новых способов получения высококачественной конкурентоспособной продукции. Получение высококачественной листопрокатной продукции с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами напрямую связано с эволюцией микроструктуры. Использование классической технологии прокатки толстого листа, имеющей монотонный характер деформации, для получения продукции с заданными качествами подразумевает дополнительную термообработку или добавление легирующих элементов, что приводит к увеличению себестоимости готовой продукции. Перспективным направлением улучшения качества горячекатаного листа, а соответственно в дальнейшем и холоднокатаного, является развитие новых схем деформации в процессе прокатки, позволяющих добиться повышения прочностных характеристик наряду с хорошей пластичностью путем измельчения зерна исходного металла в ходе реализации при деформировании схем, реализующих интенсивную знакопеременную деформацию во всем объеме деформируемого металла.

Известно, что одним из основных путей достижения знакопеременной деформации при различных процессах обработки металлов давлением является увеличение сдвиговой компоненты деформирования (макросдвиг). Поэтому важным условием повышения эффективности производства толстолистового проката является использование локальных деформаций, обеспечивающих создание в раскатах большие значения накопленной деформации, имеющей знакопеременный характер, а также ее немонотонность [1]. Для реализации данных условий (невозможных при классической продольной прокатке) на практике требуется изменить форму прокатных валков, либо заготовки. Так, одним из основных способов формоизменения является нанесение чередующихся выступов и впадин на поверхность широких граней валков или заготовки [2]. Такое изменение формы валков (или заготовки) позволит создать дополнительные потоки течения металла не только в продольном, но и поперечном направлениях (к оси прокатки), что соответственно приведет к интенсификации сдвиговой деформации во всем объеме деформируемого металла, а также уменьшению анизотропии механических свойств металла. Однако, чаще всего, на практике данный способ связан со значительным изменением исходных размеров заготовки, что носит нежелательный и даже негативный характер, поскольку в ряде случаев значительное изменение размеров поперечного сечения (обычно уменьшение) приводит к резкому сокращению возможного сортамента, получаемого из данной заготовки. Также существенное изменение исходных размеров заготовки приводит и к большим энергозатратам, что также нежелательно.

В связи с этим разработка новой или усовершенствование уже существующих технологий с целью создания наиболее благоприятных условий для получения высококачественного толстолистого металла без существенного изменения исходных размеров заготовки является актуальной задачей.

Для решения данной задачи была разработана новая технология прокатки, позволяющая добиться повышения качества толстолистого металла при незначительных изменениях исходных размеров поперечного сечения заготовки [3]. Предлагаемая технология включает в себя прокатку в валках с рельефной поверхностью в виде кольцевых проточек, образующих трапециевидные выступы и впадины с неравным отношением выступов и впадин [3], чередующиеся друг за другом по всей длине бочки, и выравниванием заготовки на гладкой бочке с последующей прокаткой до нужного типоразмера. При прокатке заготовки в рельефных валках осуществляется интенсификация сдвиговой деформации с образованием на поверхности заготовки чередующихся выступов и впадин в виде сегментов трапециевидной формы. При последующей прокатке заготовки в гладких валках создаются условия для обеспечения знакопеременного течения металла при выравнивании поверхности раската с сохранением исходной толщины заготовки.

Целью данной работы является компьютерное моделирование разработанной технологии в программном комплексе Simufact Forming для изучения формоизменения заготовки в процессе прокатки и оценки формирующейся схемы деформирования, возникающей при прокатке заготовки по предлагаемой технологии.

Для решения поставленной задачи нами была разработана геометрическая модель рельефных валков с неравным отношением выступа к впадине (рис. 1), полностью соответствующая лабораторной паре валков для стана ДУО-100. Диаметр рельефного валка по буртам составляет $D = 100$ мм, длина бочки $L_б = 150$ мм, глубина впадины равна высоте выступа и составляет $h_{вп} = h_{выс} = 10$ мм. Конструкция зазора в рельефных валках представлена на рис. 1.

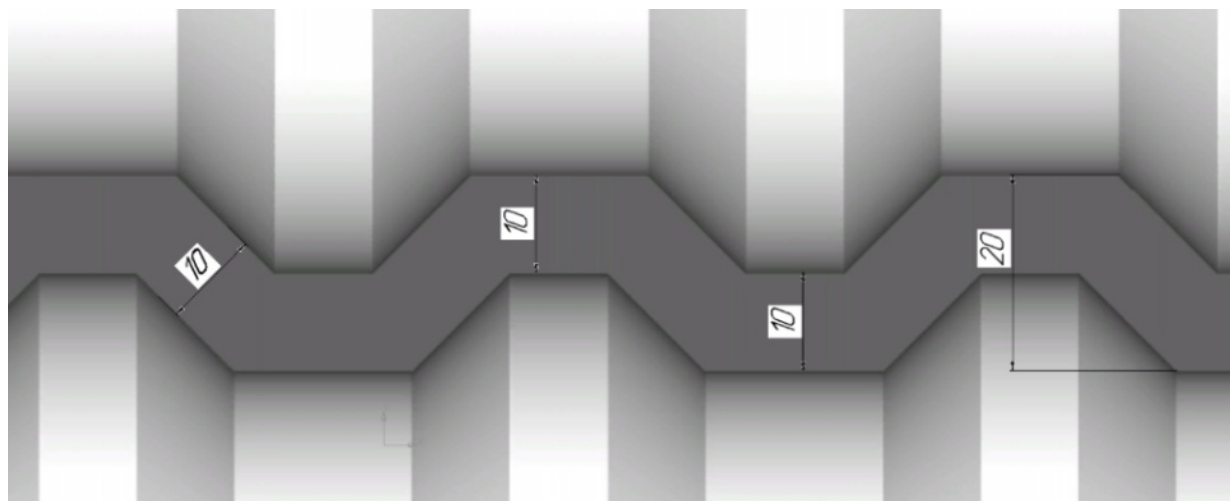


Рис. 1. Конструкция зазора в рельефных валках

Компьютерная модель предлагаемой технологии была составлена с использованием метода конечных элементов с помощью программного комплекса Simufact Forming. Компьютерная модель состоит из клетки с рельефными валками и двух последовательно установленных клеток с гладкими валками, предназначенными для выравнивания заготовки после прокатки в рельефных валках. Весь процесс прокатки в созданной модели можно разделить на три этапа: прокатка в рельефных валках, первичное выравнивание заготовки в валках с гладкой бочкой, вторичное выравнивание заготовки. Общий вид модели представлен на рис. 2.

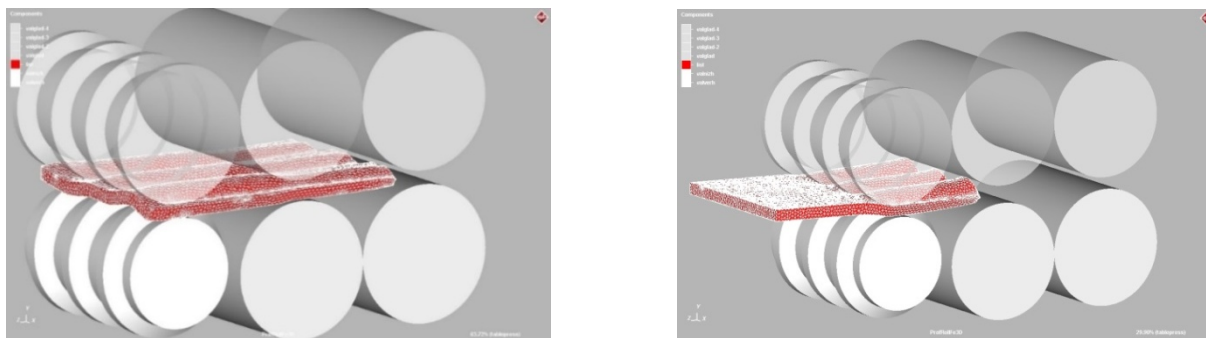


Рис. 2. Общий вид модели

В качестве исходной заготовки использовался лист прямоугольной формы с размерами $h \times b \times l = 10 \times 140 \times 200$ мм. Материалом исходной заготовки послужила сталь 15.

Условия и допущения, принятые при моделировании в программном комплексе Simufact Forming:

- материал заготовки в исходном состоянии (до деформации) является изотропным и в нем отсутствуют начальные напряжения и деформации;
- прокатка проводилась при комнатной температуре (20°C);
- температура заготовки перед прокаткой составляет 1000°C ;
- инструмент принимается абсолютно жестким; геометрия инструмента (3D модели) созданы с использованием программы КОМПАС 3D V15 и сохранены с расширением stl;
- материал исходной заготовки принимается пластичным;
- принята модель трения по Зибелю, т.е. контактное напряжение превышает предел текучести;
- коэффициент трения (shear) между инструментом и заготовкой выбран на основе рекомендаций программы Simufact Forming и принят равным 0,7;
- скорость прокатки составляет 1,25 рад/с.

В ходе изучения результатов моделирования был проведен анализ формоизменения заготовки при прокатке толстого листа по предложенной технологии (рис. 3).

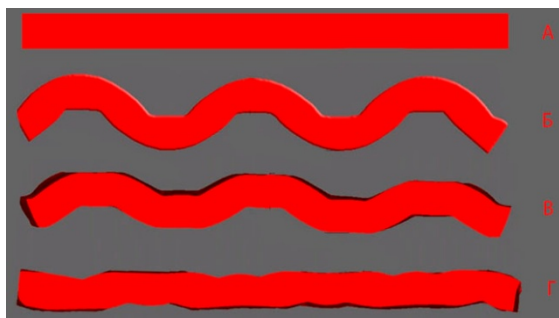


Рис.3. Формоизменение заготовки по проходам (А – исходная заготовка; Б – после прокатки в рельефных валках; В – после второго прохода (гладкие валки); Г – после третьего прохода (гладкие валки))

После прокатки в первой клетке лист приобрёл чередующиеся выступы и впадины трапецевидной формы, идентичные рельефным валкам. Высота заготовки по критическим точкам составляет 20 мм (рис. 3Б). Во втором проходе происходит выравнивание заготовки по сечению, за счет течения металла в направлении наименьшего сопротивления – в стороны за счет искривленного профиля (рис 3В). Происходит уменьшение гребней по высоте, при этом толщина заготовки по сечению остается неизменной. Высота заготовки по критическим точкам составила 15 мм.

В последнем проходе происходит окончательное выравнивание гребней, при этом происходит незначительное уширение заготовки. По полученным результатам

моделирования можно сделать вывод о том, что последовательная установка двух пар гладких валков позволяет выровнять заготовку после прохода на рельефных валках (рис. 3Г). Высота заготовки по критическим точкам составляет 10 мм

Полученные результаты свидетельствуют о том, что форма поперечного сечения заготовки уже после двух проходов в гладких валках возвращается к прямоугольной форме без существенного изменения исходных размеров заготовки.

При изучении напряженно-деформированного состояния появляется возможность не только оценить значения возникающих напряжений и деформации в деформируемой заготовке, но и определить общий тип деформирования в конкретной точке. В результате данного анализа можно судить, какой тип деформации преобладает в деформированном металле – растяжение, сжатие или сдвиг. В качестве критерия оценки схемы деформации был использован коэффициент Лодэ-Надаи [4].

Расчет коэффициента Лодэ-Надаи проводился по формуле:

$$\mu = 2 \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, МПа, на всех трех этапах прокатки.

Главные напряжения были взяты из результатов компьютерного моделирования процесса. Для расчета были взяты значения максимальных, средних и минимальных главных напряжений в 28 точках по всей длине поперечного сечения. Значения коэффициента Лодэ находятся в промежутке от 1 до -1. Значения коэффициента, стремящиеся к 1, свидетельствуют о сжимающем характере деформации, к 0 – о сдвиговом характере, к -1 – о растягивающем характере [4]. Схема исследований деформируемых областей заготовки представлена на рис. 4.

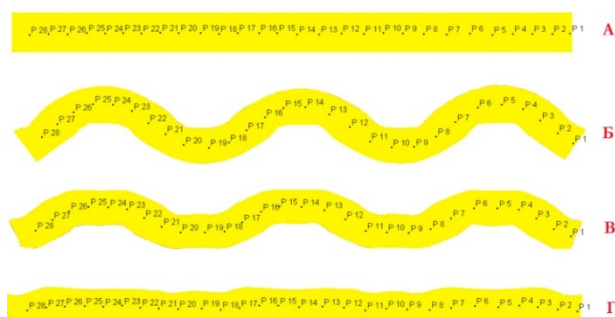


Рис. 4. Схема исследований деформируемых областей заготовки:

А – исходная заготовка; Б – после прокатки в рельефных валках; В – после второго прохода (гладкие валки); Г – после третьего прохода (гладкие валки)

Результаты, полученные в ходе анализа коэффициента Лодэ-Надаи (рис. 5), показали, что на первом этапе прокатки (рельефная прокатка) в поперечном сечении заготовки возникает 2 типа деформации – сжатие и сдвиг, о чем свидетельствуют значения коэффициента, полностью положительные и стремящиеся к 0. Причем деформация сдвига реализуется в зонах гребней, тогда как сжатие – на примыкающих к ним участках. Такая картина распределения напряжений является наиболее благоприятной, поскольку деформация сжатия приводит к залечиванию возможных несплошностей металла, а деформация сдвига приводит к интенсивной проработке исходной структуры металла.

На втором этапе прокатки (гладкие валки) преобладает деформация, имеющая сжимающий характер, поэтому здесь значения коэффициента положительны и находятся в диапазоне от 0,2 до 1. Это объясняется тем, что после рельефных валков заготовка получает увеличенную высоту при неизменной толщине. При попадании в гладкие валки происходит выравнивание заготовки по высоте. Причем здесь наблюдается характерное распределение коэффициента – на наклонных участках заготовки его значение минимально (0,2...0,3); в зонах гребней возникает контакт металла с валками, поэтому здесь сжимающие напряжения значительно выше и значение коэффициента максимально (0,9...1).



А)



Б)



В)

Рис. 5. Результаты расчета коэффициента Лодэ-Надаи

Деформация на третьем этапе прокатки несет знакопеременный характер. Здесь, в отличие от двух предыдущих этапов, в любом вертикальном сечении заготовки возникает контакт металла с валками на обеих поверхностях – верхнем и нижнем, что приводит не только к сжатию в зонах гребней, но и к растяжению на наклонных участках. Этим объясняется незначительное уширение заготовки. На данном этапе также наблюдается весьма характерное распределение коэффициента – на наклонных участках заготовки его значение отрицательно (-0,4...-0,3), что говорит о растягивающем характере деформации; в зонах гребней возникает контакт металла с обоими валками, поэтому здесь значение коэффициента максимально (0,9...1).

ВЫВОДЫ

В данной работе было проведено компьютерное моделирование процесса прокатки толстолистного металла по новой технологии, включающей в себя прокатку в рельефных валках и выравнивание заготовки на гладкой бочке. Проанализировано формоизменение заготовки, а также проведено исследование схем деформации с помощью коэффициента Лоде – Надаи.

Результаты, полученные в ходе анализа коэффициента Лоде-Надаи, показали, что при прокатке в рельефных валках в поперечном сечении заготовки возникает два типа деформации – сжатие на наклонных участках и сдвиг в зонах гребней. Такая картина распределения напряжений является наиболее благоприятной, поскольку деформация сжатия приводит к залечиванию возможных несплошностей металла, а деформация сдвига приводит к интенсивной проработке исходной структуры металла.

На втором этапе прокатки в гладких валках преобладает деформация, имеющая сжимающий характер. Деформация на третьем этапе прокатки несет знакопеременный характер. Здесь в любом вертикальном сечении заготовки возникает контакт металла с валками на обеих поверхностях – верхнем и нижнем, что приводит не только к сжатию в зонах гребней, но и к растяжению на наклонных участках. Этим объясняется незначительное уширение заготовки.

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что предложенная технология позволит получать прокат с качественной проработкой исходной структуры по всему объему, а, следовательно, и с повышенным уровнем механическими свойствами без существенного изменения исходной заготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашинская Е.Г. Применение прокатки со сдвигом и традиционного волочения для формирования структуры и свойств малоуглеродистых сталей. / Е.Г. Пашинская, А.В. Завдоев // *Физика и техника высоких давлений*. – 2012. – Том 22. – № 3. – С. 113–123.
2. Трайно А.И. Производство листового проката с использованием локального деформирования / А.И. Трайно, В.П. Полухин // *Производство проката*. – 2011. – №1. – С. 25–31.
3. Патент Республики Казахстан № 14791 Валки для прокатки толстых листов / Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н. – 2007. – Бюл. 11.
4. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1994. – 232 с.

REFERENCES

1. Pashinskaja E.G. *Primenenie prokatki so sdvigom i tradicionnogo volochenija dlja formirovanija struktury i svojstv malouglerodistyh stalej*. / E. G. Pashinskaja, A. V. Zavdoveev // *Fizika i tehnika vysokih davlenij*. – 2012. – Tom 22. – № 3. – S. 113–123.
2. Trajno A. I. *Proizvodstvo listovogo prokata s ispol'zovaniem lokal'nogo deformirovanija* / A. I. Trajno, V. P. Poluhin // *Proizvodstvo prokata*. – 2011. – №1. – S. 25–31.
3. *Patent Respubliki Kazahstan № 14791 Valki dlja prokatki tolstyh listov* / Najzabekov A.B., Lezhnev S.N. – 2007. – Bjul. 11.
4. *Processy plasticheskogo strukturoobrazovanija metallov* / V. M. Segal, V. I. Reznikov, V. I. Kopylov [i dr.]. – Minsk: Nauka i tehnika, 1994. – 232 s.

Найзабеков А. Б. – д-р техн. наук, проф. РИИ
Лежнев С. Н. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД КГИУ
Панин Е. А. – магистр, ст. преп. каф. ОМД КГИУ
Крупенькин И. И. – магистрант каф. ОМД КГИУ

РИИ – Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан;

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: Sergey_legnev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.07.2016 г.