

ДЕФОРМИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ БЛЮМОВ НА СТАДИИ НЕПОЛНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В СКРЕЩЕННЫХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ВАЛКАХ

Представлен опис та результати дослідження нового двостадійного способу деформування безперервнолитих блюмів на стадії неповної кристалізації в скрещених валках. Визначено раціональні параметри процесу деформування, які забезпечують мінімальний рівень виникнення порушень суцільності при максимальному проникненні деформації в середину блюму.

The description and results of a study of a new two-stage method of deformation continuously blooms on the stage of incomplete crystallization of crossed rollers are presented. The rational parameters of the deformation process, ensure a minimum level of occurrence of discontinuities at the maximum penetration of deformation in the axial zone of the bloom.

Введение. В настоящее время применение технологии soft reduction для обжатия непрерывнолитых слитков является неотъемлемой технологией их производства, которая обеспечивает высокое качество осевой зоны за счет уменьшения или полного устранения осевой пористости и ликвации.

На практике в настоящее время существует, по меньшей мере, несколько оригинальных технических решений для реализации метода soft reduction непрерывнолитых блюмов. Основная их часть направлена на повышение степени проникновения деформации в осевую зону блюма. Добиться этого можно как с помощью изменения формы поперечного сечения самого непрерывнолитого слитка [1], так и с помощью совершенствования рабочего инструмента [2].

Работы в данном направлении продолжительное время ведутся на кафедре ОМД Донецкого национального технического университета. В частности, был разработан метод двухстадийного обжатия непрерывнолитых блюмов и заготовок на стадии неполной кристаллизации. В соответствии с этим способом предложено разделить один этап деформирования на две стадии. Причем на первой стадии обжимают центральные участки слитка профилированными валковыми парами первого ряда на ширине которая равняется 80...90% от ширины жидкой фазы, а на второй стадии обжимают раньше недеформированные краевые участки слитка гладкими валковыми парами второго ряда [3].

Анализ результатов исследования вышеописанного способа с помощью математических и физических моделей позволил усовершенствовать данный способ. В результате чего был предложен новый способ деформирования непрерывнолитых блюмов на стадии неполной кристаллизации в скрещенных профилированных валках. В соответствии с новым способом обжатия непрерывнолитых блюмов [4] на первом этапе предусмотрено обжатие непрерывнолитого слитка в скрещенных валках, имеющих центральную цилиндрическую контактирующую часть, равную расчетной ширине незакристаллизовавшейся составляющей в рассматриваемой точке технологической линии МНЛЗ, а на втором этапе - предусмотрена процедура выравнивания полученного подката с прожимом в середине широкой грани (рис. 1).

Изучению особенностей процесса деформирования непрерывнолитого слитка по новому способу и посвящена предлагаемая статья.

Объект и условия моделирования.

Исследование производилось на компьютерной модели непрерывнолитого слитка сечением 335x400 мм, для условий обжатия в валках диаметром 500 мм клетей редуцирующего блока. План-матрица эксперимента приведена в табл. 1. На первом этапе деформирования производится обжатие в профилированных валках, характеризующееся величиной относительного обжатия в центральной части слитка ϵ центр, краевом участке ϵ края, и углом скрещивания валков α , а на втором - выравнивание поверхности в гладких валках с величиной относительного обжатия ϵ втор.

Расчетное исследование проводилось с использованием современного программного комплекса, позволяющего реализовать разработанную модель в конечно-элементной форме.

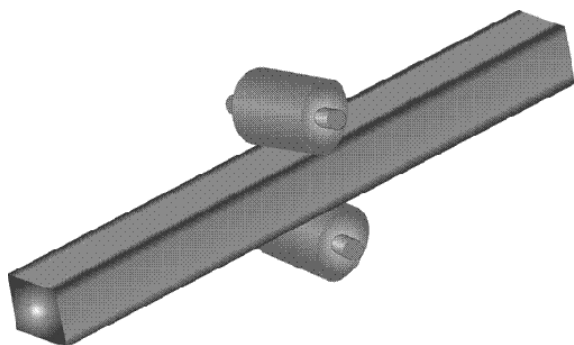


Рис. 1. Схема деформации непрерывнолитого слитка на первой стадии

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов				
Фактор	Интервал варьирования	Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
α°	2-6	4	6	2
ϵ центр	0,6-1,2	0,9	1,2	0,6
ϵ края	0,3	0,45	0,6	0,3
ϵ втор	0,3	0,45	0,6	0,3

В ходе расчетного исследования изучали влияние параметров процесса деформирования на:

- характер накопления деформации Δ на плоскости контакта металла с валками и боковой поверхности блюма;
- распределение накопленной деформации в поперечном сечении блюма и вдоль очага деформации;
- распределение интенсивности напряжений σ_i в объеме металла в пределах физического очага деформации.

Ввиду того, что оси валков скрещены друг относительно друга, по ширине очага деформации было выделено две характерные области, которые лежат слева и справа от продольной оси симметрии (рис 2.): область в которой деформация со стороны верхнего валка наступает раньше (сечения 0, 1, 2 – смещены против хода прокатки); область, в которой деформация со стороны верхнего валка наступила позже (сечения 4, 5, 6 – смещены по ходу прокатки).

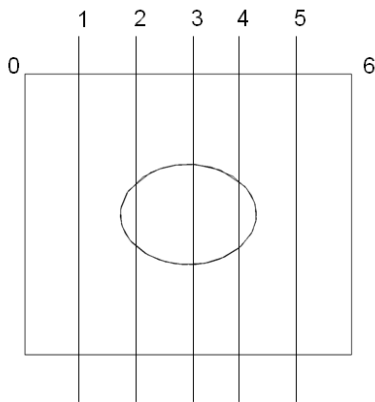


Рис. 2. Схема контрольных точек на контактной поверхности блюма для оценки напряженно-деформированного состояния металла

валков способствует дифференцированной проработке металла поверхностных слоев непрерывнолитого блюма, что особенно важно с точки зрения минимизации поверхностных дефектов.

Влияние изменения величины относительного обжатия и угла скрещивания. Результаты расчетов, связанных с оценкой влияния угла скрещивания на уровень накопленной деформации Δ в контактных слоях металла представлены на рис. 3 и 4. Видно, что максимальная величина Δ , наблюдается в областях металла, примыкающих к границе центральной части большего диаметра. При этом в центре раската происходит наиболее интенсивное накопление деформации. Однако его характер неустойчивый, поскольку имеются области взаимного проникновения.

Влияние изменений величины ϵ носит однозначный характер: с увеличением ϵ интенсивность накопления деформации Δ возрастает. Сопоставление данных о характере накопления деформации, выполненное по сравнению с процессом деформирования в гладких скрещенных валках показало, что уровень Δ в случае прокатки в скрещенных валках в контактной зоне (точки 2,3,4) которая соответствует профилированной части валков выше на 25,9...30,4 %. В то же время как на концевых участках блюма (точки 0, 1, 5, 6), деформируемых с меньшими величинами ϵ , прирост величины Δ менее интенсивен и составляет всего 6,3...16,1 %. Данное обстоятельство служит однозначным подтверждением того, что профилирование

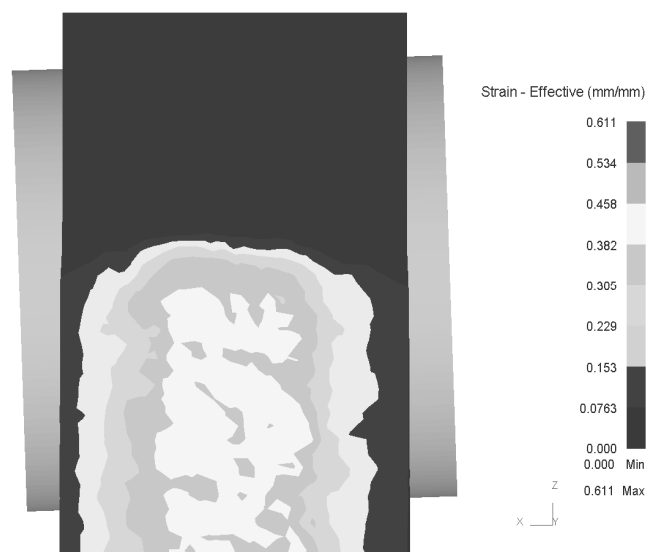


Рис. 3. Распределение Δ по ширине контактной поверхности непрерывнолитого блюма

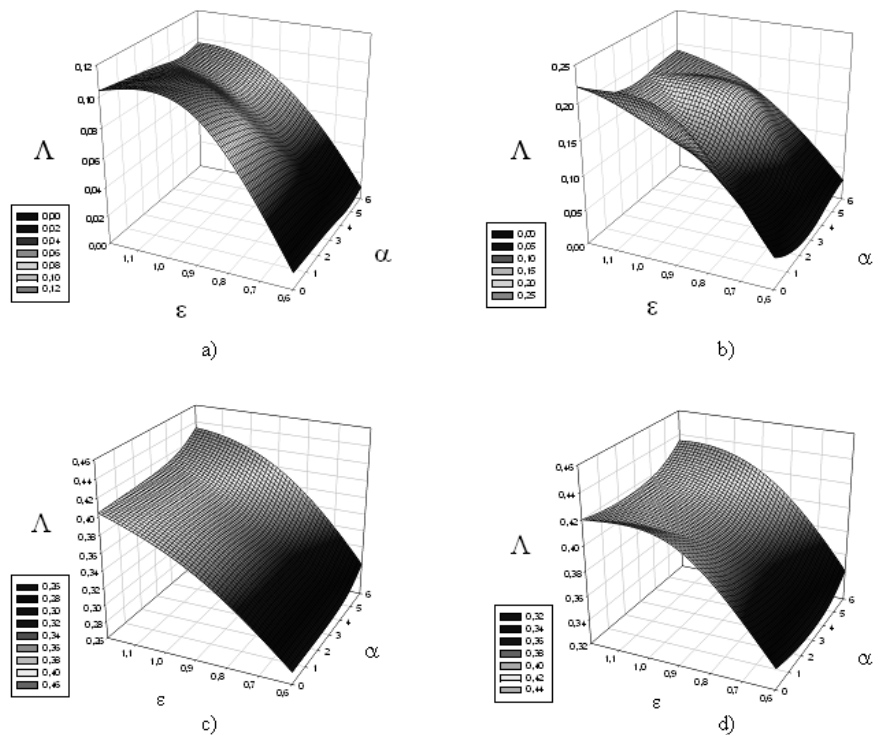


Рис. 4. Изменение величины Λ на контактной поверхности в зависимости от ε и α :
 а - $x_i/b = 0$; б - $x_i/b = 0,167$; в - $x_i/b = 0,333$; д - $x_i/b = 0,5$
 (x_i и b – текущая поперечная координата контрольной точки и ширина блюма соответственно)

В то же время, влияние изменений α носит не столь однозначный характер и по разному проявляется по ширине контактной зоны. В целом, увеличение величины α приводит к уменьшению уровня накопленной деформации на краевых участках слитка (точки 0, 1, 5, 6). В то же время, уровень накопленной деформации в зоне контакта слитка с профилированной частью валков возрастает. Кроме того, в зоне контактной поверхности, которая прилегает из вне к профилированной части валка (точки 1 и 5), влияние величины α носит неоднозначный характер, что связано с изменением ширины очага деформации при изменении угла скрещивания валков. При этом, максимальный уровень накопленной деформации Λ наблюдается при $\alpha=3^\circ$.

Распределение интенсивности напряжений σ_i по контактной поверхности представлено на рис. 5. Результаты анализа напряженно-деформированного состояния непрерывнолитого блюма позволили сделать взвод о том, что использование профилированных валков приводит к незначительному росту σ_i в центральной области по сечению блюма (точки 2-4). В угловых же участках (точки 0, 1, 5, 6) наоборот наблюдается снижение величины σ_i на 5,3 ÷ 6,1 %, что является позитивным моментом с позиции сохранения целостности переохлажденных углов блюма.

Приведенные данные позволяют утверждать, что использование скрещенных валков является эффективным средством управления процессом деформирования непрерывнолитых блюмов, особенно с точки зрения локализации деформационного процесса на определенном участке ширины блюма.

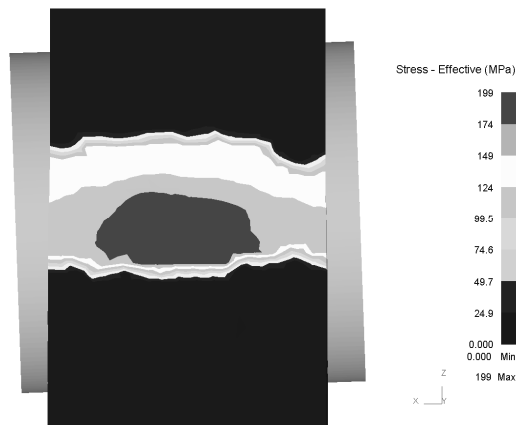


Рис. 5. Распределение интенсивности напряжений σ_i по ширине контактной поверхности непрерывнолитого блюма

Проникновение деформации в осевую зону слитка. Глубину проникновения деформации в разные слои металла по сечению непрерывнолитого блюма оценивали путем измерения расстояния от контактной поверхности до внешней границы области металла с видимыми изменениями деформированного состояния.

Анализ полученных данных показал, что в сравнении с прокаткой в гладких валках наблюдается локализация процесса деформации в осевой части слитка (рис. 6). При этом в контактной зоне, которая соответствует профилированному участку валков (точки 1-5), глубина проникновения деформации D составила 40 мм при $\varepsilon = 0,6\%$ и 62 мм при $\varepsilon = 1,2\%$, т. е. наблюдается рост на 21.2 %.

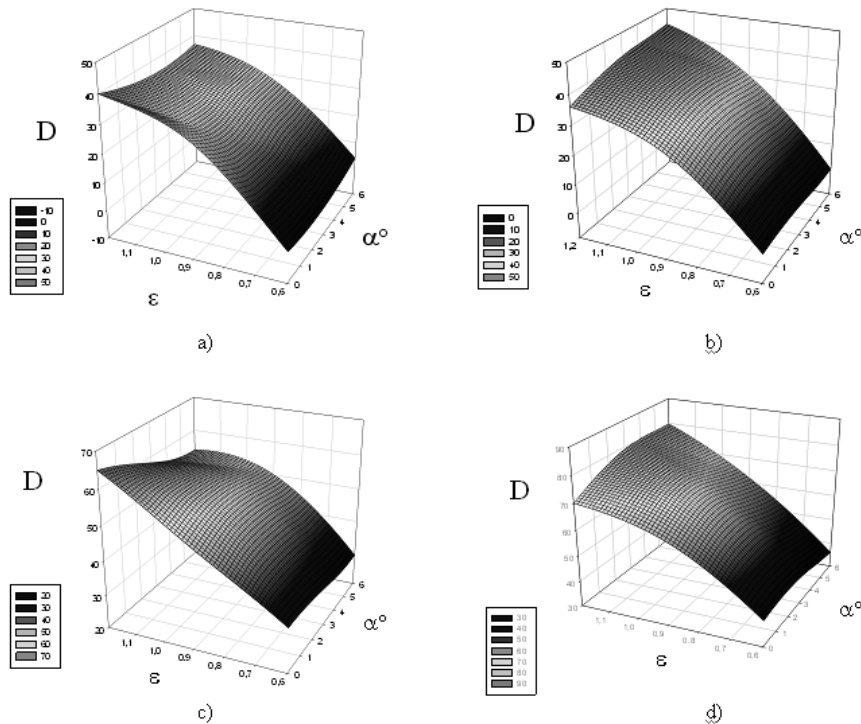


Рис. 6. Глубина проникновения деформации в вертикально-продольной плоскости симметрии непрерывнолитого блома D в зависимости от ε и α :
a - $x_i/b = 0$; b - $x_i/b = 0,167$; c - $x_i/b = 0,333$; d - $x_i/b = 0,5$
(x_i и b – текущая поперечная координата контрольной точки и ширина блома соответственно)

Следует отметить, что зависимость от изменения величины α имеет экстремум при котором обеспечивается максимальный прирост проникновения деформации. Так при значении $\alpha = 4^\circ$ глубина проникновения достигла 80 мм, что на 33,3 % больше чем в гладких валках без скрещивания, на 23 % выше чем в гладких скрещенных валках и на 14,3 % выше чем в гладких профилированных валках. Данное обстоятельство позволяет говорить о более эффективном процессе проникновения деформации при использовании профилированных валков.

Вторая стадия деформации. На второй стадии деформации происходит выравнивание формы полученного подката с прожимом в середине широкой грани. Проведенное моделирование показало, что в процессе деформации вовлекается только часть слоев металла (точки 1, 2 и 4, 5), а наибольший уровень σ_i наблюдается в области сопряжения поверхностей, имеющих различную высоту. Уровень σ_i в данных слоях металла (точки 1 и 5) превышает аналогичный на кромках (точки 0 и 6) более чем в 2 раза. Такой характер распределения позволяет сделать вывод о том, что именно эти области металла на втором этапе будут иметь наивысшую вероятность нарушений сплошности в поверхностных слоях. Дополнительная оценка характера проникновения деформации показала, что в на стыках поверхностей также наблюдается максимальное проникновение деформации во внутренние слои. Однако эта величина меньше чем в случае классической схемы прокатки почти в 2 раза. Это служит неоспоримым фактом возможности перераспределения величины проникновения деформации между проходами, что особенно ценно с точки зрения повышения эффективности обработки осевой жидко-твердой составляющей.

Вывод.

Применение способа деформирования непрерывнолитого блома в профилированных скрещивающихся валках позволяет с одной стороны выполнить дифференцированную обработку слитка как по ширине контактной поверхности, так и между смежными проходами. В следствие этого повышается менее чем на 15% глубина проникновения деформации в осевые области металла, а также появляется возможность более гибкого реагирования на изменения физико-геометрического состояния непрерывнолитого блома в точке реализации внешнего деформационного воздействия.

Список литературы

1. Byrne C., Tercelli C. Mechanical Soft reduction in billet casting / C. Byrne, C. Tercelli // Steel Times International. Continuous casting. - 2002. - october. - P. 37-40.
2. Легкое обжатие непрерывнолитого слитка валками с разной длиной бочки / К. Цуцуми, К. Фукумура, С. Нисиока [и др.] // Новости черной металлургии за рубежом. - 1996. - № 1. - С. 52.
3. Smirnov E.N. Development of the method prevention of internal cracks in process of soft reduction continuously cast blooms / E.N. Smirnov, V. Sklyar // 19-th International Metal-lurgical & Materials Conference "METAL - 2010", Roznov pod Radhostem, 18 - 20 May 2010, Czech Republic. - Ostrava: VSB - Technical University, 2010, - B33.- p. 231 – 237
4. Пат. 89961. UA, МПК В 22 D 11/12, В 22 D 11/10, В 22 D 11/06, В 22 D 11/00, В 21 В 1/04 (2006.01), В 21 В 1/02 (2006.01), В 21 В 13/22 (2006.01) Спосіб обтиснення безперервнолитого блома або заготовки у рідкотвердому стані. / Смирнов Є.М., Смирнов О.М., Скляр В.О., [та ін.]. Заявник та патентовласник Донец. нац. техн. ун-т. №200700576. Заявл. 22.01.2007. Опубл. 25.03.2010 Бюл. № 6 - 4 с.