

УДК 621.746.047:669.054.2
DOI

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТАНОВКИ C-CAD

Михалев А.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: mialex@mail.ru

Получили развитие технологии и конструкции машин, в которых одновременно с процессом литья заготовок, обеспеченным работой агрегатов и узлов установок непрерывной разливки стали, выполняется процесс деформирования непрерывнолитой заготовки. Цель исследования – реализация принципов построения агрегатов и узлов комплекта для литья и деформации C-CAD, способствующих устранению дефектов поверхности, сокращению количества неметаллических включений в поверхностных и внутренних зонах слитка. Впервые представлены основные принципы построения конструкций системы «кристаллизатор – установка для машины непрерывного литья заготовок», определивших характер агрегатов и узлов кристаллизатора и установки для деформации непрерывнолитой заготовки. Оборудование промежуточного ковша выполняет следующие функции: подача стали в кристаллизатор и обеспечение постоянного уровня стали, обеспечение кристаллизатором первичного охлаждения жидкой стали и формирование корочки заготовки. При этом обеспечивается автоматизированная подача воды в кристаллизатор и агрегаты зоны вторичного охлаждения. Установка для деформации в системе агрегатов и узлов определяет геометрические и механические характеристики непрерывнолитой заготовки. Для оценки характера циркуляционных потоков в агрегатах системы рассмотрен массоперенос в находящемся в движении расплаве, перемещающемся в кристаллизатор. Он непосредственно связан со свойствами и поведением текучей среды. В периоды формирования заготовки рассматривается расчетная модель системы «кристаллизатор – установка для деформации», которая предназначена для определения характеристик. Прототип установки испытывался на участке непрерывной разливки стали, где были проанализированы металлургические результаты: сокращение дефектов поверхности, количества неметаллических включений в поверхностных и внутренних зонах слитка.

Ключевые слова: кристаллизатор, установка для деформации, математическое моделирование

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND DESIGNS OF CONTINUOUS CASTING AND DEFORMATION OF BLANKS

Mikhalev A.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: mialex@mail.ru

The technology and design of the machine have been developed, in which, simultaneously with the process of continuous casting of blanks, provided by the operation of units and units of continuous casting plants, the process of deformation of a continuously cast billet is carried out. The purpose of the study is to implement the principles of building aggregates and units of the C-CAD casting and deformation kit, which contribute to the elimination of surface defects, reducing the number of non-metallic inclusions in the surface and internal zones of the ingot. For the first time, the basic principles of building the structures of the mold system – a unit for deformation of a continuous casting machine and deformation of blanks, which determined the nature of the units and units of the mold and the unit for deformation, are presented. The intermediate ladle equipment performs the following functions: feeding steel into the mold and ensuring a constant steel level, the mold provides primary cooling of the liquid steel and the formation of the billet crust. At the same time, an automated supply of water to the mold and units of the secondary cooling zone is ensured. The installation for deformation in a system of units and assemblies determines the geometric and mechanical characteristics of a continuously cast billet. To assess the nature of circulation flows in the aggregates of the system, mass transfer in a melt in motion moving into the mold is considered. It is directly related to the properties and behavior of the fluid. During the periods of billet formation, the design model of the mold – deformation unit, which is designed to determine the parameters, is considered. The prototype of the unit was tested in the continuous casting area, where metallurgical results were analyzed: reduction of surface defects, reduction of the number of non-metallic inclusions in the surface and internal zones of the ingot.

Keywords: mold (M); deformation unit; mathematical modeling

Рассматриваются технологии и конструкции машины, в которой одновременно с процессом непрерывного литья заготовок, обеспеченного работой агрегатов и узлов установок непрерывной разливки стали [1], выполняется процесс деформации непрерывнолитой заготовки [2]. Определяющую роль в прохождении стали в представленной

машине непрерывного литья и деформации заготовок (МНЛДЗ) [3] выполняет система «кристаллизатор – установка для деформации» (рис. 1).

Оборудование промежуточного ковша выполняет функции: подача стали в кристаллизатор и обеспечение постоянного уровня стали в системе МНЛДЗ [4].

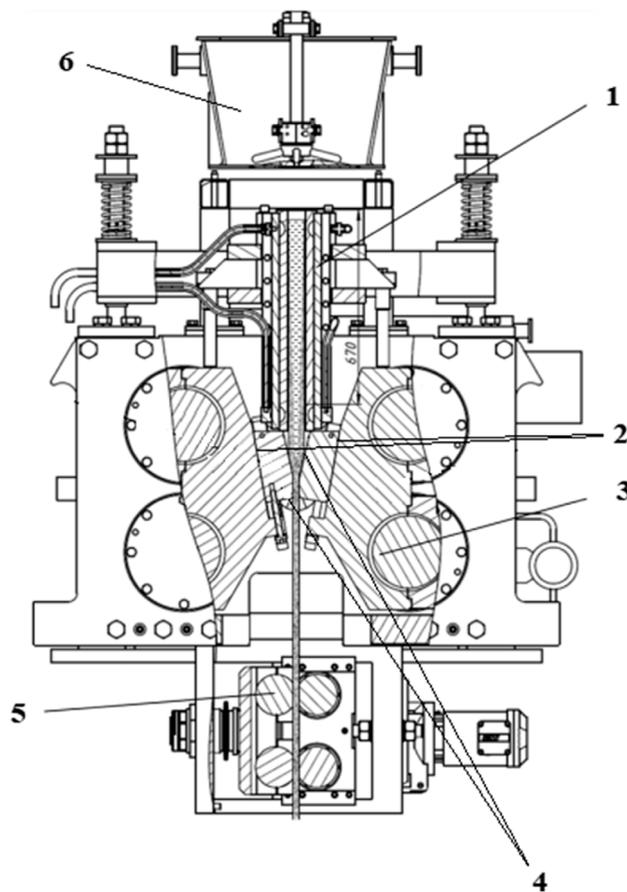


Рис. 1. Конструктивная схема агрегатов и узлов МНЛДЗ:

1 – зона первичного охлаждения; 2 – зона вторичного охлаждения; 3 – подвижный блок;
4 – зона деформации; 5 – зона вытяжки; 6 – промежуточный ковш

Кристаллизатор обеспечивает первичное охлаждение жидкой стали и формирование корочки заготовки. При этом обеспечивается автоматизированная подача воды в кристаллизатор и агрегаты зоны вторичного охлаждения в системе агрегатов и узлов МНЛДЗ [1]. Установка для деформации в системе агрегатов и узлов МНЛДЗ определяет форму и параметры непрерывнолитой заготовки [3; 5].

Цель исследования – реализация принципов построения агрегатов и узлов комплекта для литья и деформации С-CAD, способствующих устранению дефектов поверхности, сокращению количества неметаллических включений в поверхностных и внутренних зонах слитка.

Материал и методы исследования

Формирование непрерывнолитой заготовки в едином блоке [6; 7] определяется быстрым развитием непрерывной разливки стали, будь то производство заготовок, блюмов, слябов [1]. Продолжающееся расширение использования изделий из непре-

рывнолитого металла настоятельно требует разработки и увеличения технологической эффективности процессов разливки и агрегатов, их обеспечивающих [6]. Все это определило важнейшие положения построения – принципы построения компоновок системы и конструкций МНЛДЗ [7; 8]:

- применение для первоначального расположения жидкого металла промежуточного разливочного устройства, обеспечивающего дальнейшее перемещение стали в кристаллизатор [8];

- использование кристаллизатора с гильзой специальной конфигурации [1];

- применение устройства для гидравлического сбива окалины, подаваемой водой на формирующейся корочке заготовки [9];

- использование в зоне вторичного охлаждения на выходе из кристаллизатора [10] подвижных элементов, контактирующих своей рабочей поверхностью с корочкой оболочки заготовки, поверхностями с заданной геометрией [7];

- обеспечение прочности конструкций агрегатов МНЛДЗ.

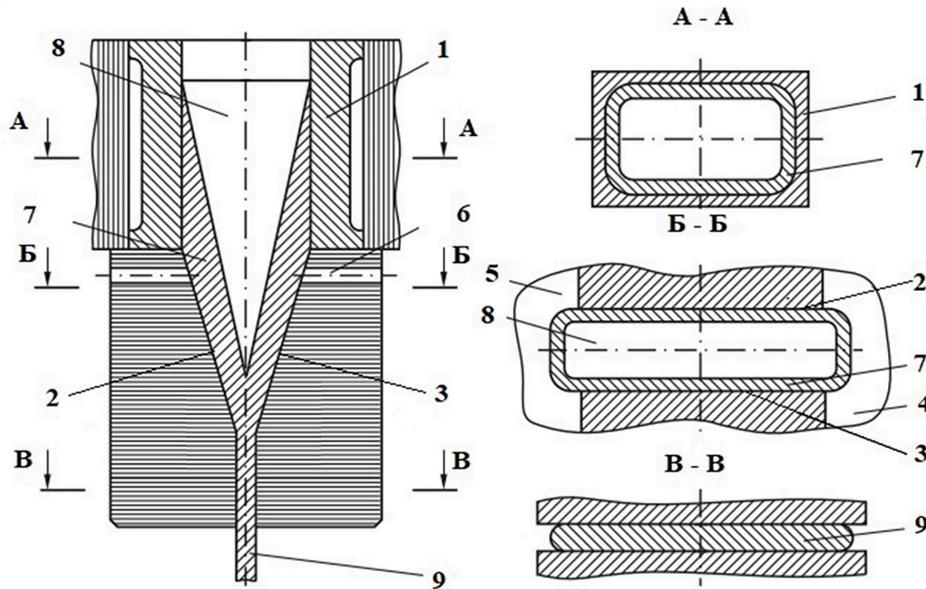


Рис. 2. Схема комплекта агрегатов МНЛДЗ в сборе:
 1 – гильза; 2, 3 – рабочие поверхности бойков; 4, 5 – стенки корпуса;
 6 – каналы для подачи воды; 7 – корочка; 8 – жидкая сталь; 9 – заготовка на выходе

Комплект узлов для деформирования агрегатов МНЛДЗ (рис. 2) составляет единое целое для формирования заготовки 9 из жидкой стали 8.

Стенки 4 и 5 корпуса охватывают гильзу 1. Анализ компоновки схемы определил следующие основные циклы работы комплекта агрегатов МНЛДЗ [7]:

- расположение жидкого металла в полости между стенками 1. Жидкая сталь перемещается из промежуточного ковша [11];
- формирование корочки 7 заготовки, располагаемой между стенками 1 и рабочими поверхностями бойков 2, 3 [1];
- гидравлический сбив водой окалины, через отверстия 6 [10];
- подготовка промежуточной поверхности заготовки (разрез: Б – Б);
- выдача заданной заготовки (разрез: В – В);
- перемещение заготовки 9 из полости между бойками [2; 3].

Для оценки характера циркуляционных потоков в агрегатах системы необходимо рассмотреть массоперенос в находящемся в движении расплаве, перемещающемся в кристаллизатор. Он непосредственно связан со свойствами и поведением текучей среды [5; 12].

В данной задаче важно рассмотреть соотношения между скоростью потока жидкого металла и удельной мощностью перемешивания [11]. Движение расплавленного металла может быть описано уравнениями движения [8; 13]. Уравнения (1)

решаются при соответствующих граничных условиях и с учетом дополнительных соотношений [5; 14]. Все это позволяет получить информацию о поле скоростей и характере турбулентности. Турбулентное уравнение имеет вид [5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \mu_B \nabla^2 \vec{v}, \\ \nabla \vec{v} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где \vec{v} – скорость; \vec{F} – вектор объемных сил; ∇p – градиент давления; μ_B – эффективная вязкость; ρ – плотность среды.

В периоды формирования заготовки на выходе из кристаллизатора [5] рассматривается расчетная модель системы кристаллизатор – установка для деформации МНЛДЗ (рис. 3), которая предназначена для определения напряженно деформированного состояния [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Модель для формирования непрерывной заготовки. Модель представлена на рисунке 4.

Основные узлы модели закреплены на опорных металлических конструкциях корпуса 3 роликов. В нижней части корпуса 3 установлены ролики 5, которые обеспечивают продвижение непрерывной заготовки на выходе из модели.

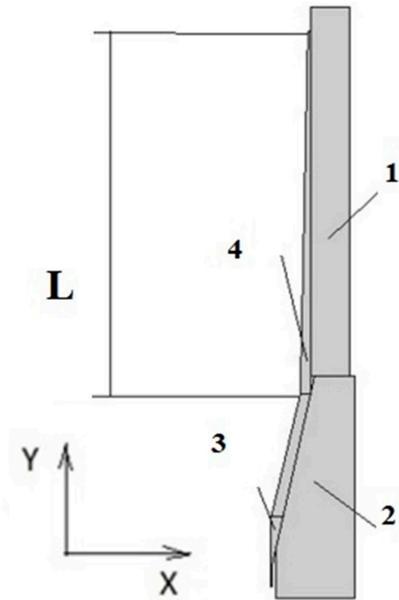


Рис. 3. Схема зоны прохождения корочки заготовки: 1 – медная стенка; 2 – подвижный агрегат; 3 – очаг деформации; 4 – корочка; L – пояс формирования корочки заготовки

На боковых поверхностях 4 установки закреплен торец гильзы 1 для промежуточного ковша, а также корпус 6 кристаллизатора. Привод обеспечивается комплектом механической передачи 7 и узлом привода 9. В качестве узла привода может быть использован гидравлический мотор или электродвигатель. Узел привода 9 соединен с комплектом механической передачи 7 соединительным элементом – муфтой 8.

Принцип работы. При работе модели жидкий металл поступает в узлы макета установки. Между медными стенками 1 (рис. 3) формируется корочка 4 заготовки. Толщина заготовки перед деформацией 30 мм. Использование подвижных агрегатов 2 позволяет в зоне очага 3 деформации формировать заготовку – лист до требуемых размеров толщиной 6...20 мм.

Передача крутящего момента на комплект валов подвижного блока 3 (рис. 1) обеспечивается узлом привода 9 (рис. 4). В модели для формирования непрерывной заготовки в качестве узла привода используется электрический двигатель.

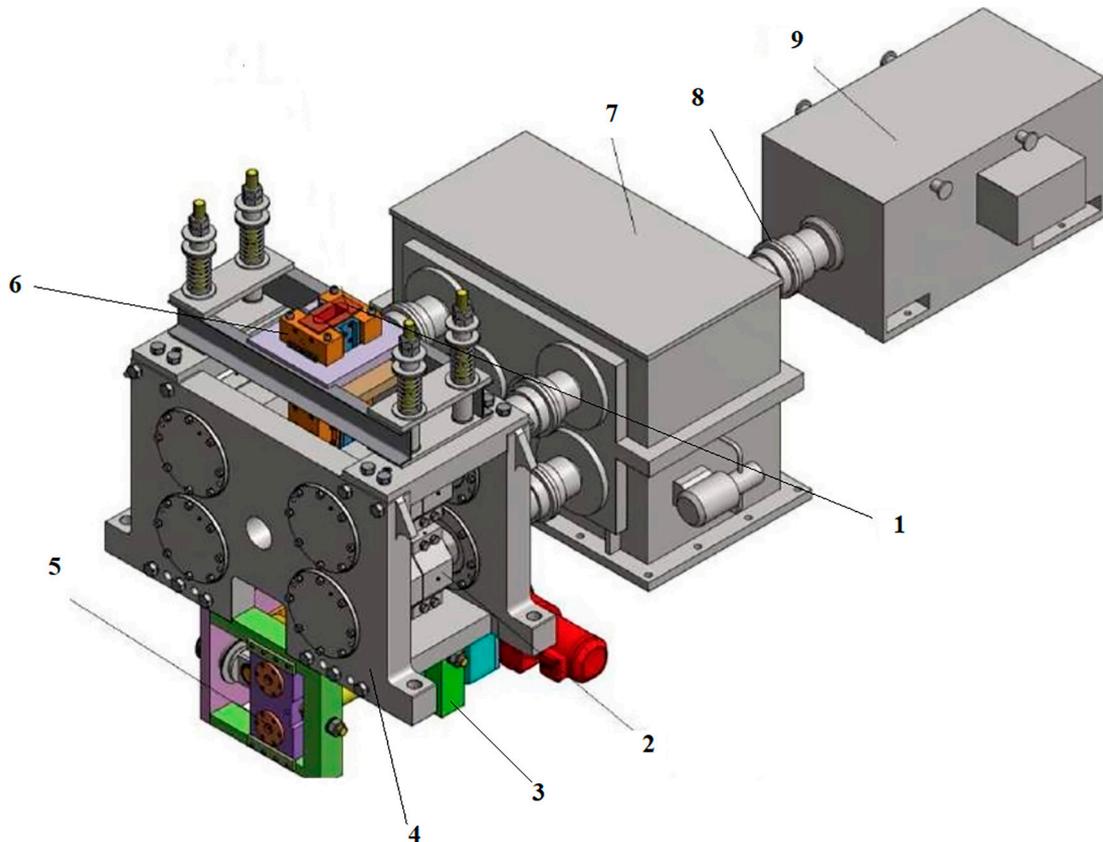


Рис. 4. Конструктивная схема узлов установки: 1 – торец гильзы; 2 – крышка; 3 – корпус роликов; 4 – боковые поверхности; 5 – ролики; 6 – корпус кристаллизатора; 7 – комплект механической передачи; 8 – соединительные элементы основной передачи – муфты; 9 – узел привода

На валах узла привода 9 установлены соединительные элементы – муфты 8. Комплект механической передачи обеспечивает распределение крутящего момента между четырьмя выходными валами. Валы установлены в корпусе 2. Конструктивно кристаллизатор состоит из вод охлаждаемой медной гильзы 1 (рис. 2), имеющей длину 800 мм. В зазор между гильзой 1 и стенками корпуса 4, 5 подается вода с общим расходом $5 \cdot 10^{-4}$ м³/с.

В процессе испытаний обеспечивался контроль температуры стенок гильзы кристаллизатора, а также заготовки и подвижных частей в процессе деформирования. Используемый для этих целей электродвигатель в узле привода оценивали величиной тока якоря.

Прототип установки испытывался на участке непрерывной разливки стали, где были проанализированы металлургические результаты: процесс разливки и деформации заготовки на одном агрегате, в зоне вторичного охлаждения, определил однородную и мелкозернистую структуру стали в заготовке на выходе из тянущего блока, а также снижение дефектов поверхности.

Выводы

1. Разработаны основные положения построения – принципы построения компонентов системы «промежуточный ковш – кристаллизатор – установка для деформации». В конструкции агрегата – установки для деформации предусмотрено использование подвижных бойков, работающих совместно с тянущими роликами.

2. Разработаны технологии непрерывного литья и деформации заготовок и развиты рациональные конструкции агрегатов и узлов установки для непрерывного литья и деформации C-CAD, что обеспечило снижение дефектов поверхности, сокращение количества неметаллических включений в поверхностных и внутренних зонах слитка.

3. Подготовлена действующая модель для формирования заготовки, испытания которой позволили проанализировать металлургические процессы: разливку и деформацию заготовки на одном агрегате.

Список литературы

1. Ячиков И.М., Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ларина Т.П., Петров И.Е. Непрерывная разливка стали. Расчеты медных кристаллизаторов / Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 190 с.

2. Лехов О.С., Ухлов И.В., Михалев А.В. Способ непрерывного литья заготовок и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2658761. Патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный профессионально-педагогический университет». 2018. Бюл. № 14.

3. Лехов О.С., Михалев А.В., Билалов Д.Х. Способ непрерывного литья заготовок и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2761373. Патентообладатель Лехов О.С. 2021. Бюл. № 2.

4. Gushchin V.N., Ul'yanov V.A. Improved tundish refining of steel in continuous-casting machines // *Steel in Translation*. 2017. Vol. 47. № 5. P. 320-324.

5. Точилкин Викт.В., Камалихина З.В., Точилкин Вас.В., Филатова О.А. Развитие конструкций промежуточного ковша машин непрерывного литья заготовок на основе моделирования // *Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 5-2. С. 251-254.

6. Точилкин В.В., Терентьев Д.В., Точилкин В.В., Филатова О.А. Развитие конструкций для подготовки оборудования системы «промежуточный ковш – кристаллизатор» машины непрерывного литья заготовок // *Известия Тульского государственного университета*. Технические науки. 2022. № 10. С. 459-463.

7. Лехов О.С., Михалев А.В., Шевелев М.М., Билалов Д.Х. Литье и обжатие тонких слябов при получении листов из стали для сварных труб при установке непрерывного литья и деформации // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2017. Т. 15, № 3. С. 31-35.

8. Точилкин Вик.В., Филатова О.А., Точилкин Вас.В., Камалихина З.В. Развитие конструкций и методов расчета оборудования разливочных камер промежуточных ковшей машин непрерывного литья заготовок // *Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 7. С. 88-92. DOI: 10.17513/snt.39238.

9. Лехов О.С., Билалов Д.Х. Напряжения в системе бойки-полоса при получении листов из меди на установке непрерывного литья и деформации // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2020. Т. 18, № 11. С. 508-511.

10. Лехов О.С., Михалев А.В., Шевелев М.М. Использование установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для улучшения качества листов из стали для сварных труб // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2018. Т. 16, № 9. С. 387-390.

11. Вдовин К.Н., Точилкин Вас.В., Добрынин С.М., Мельничук Е.А., Точилкин В.В. Конструкция и расчет металлоприемника промежуточного ковша симметричной многорулевой МНЛЗ // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2019. Т. 17, № 3. С. 25-30.

12. Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Темлянец В.В., Головатенко А.В. Повышение эффективности рафинирования рельсовой стали в промежуточных ковшах МНЛЗ на основе рациональной организации гидродинамических процессов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2020. Т. 63, № 5. С. 298-304.

13. Vdovin K.N., Tochilkin V.V., Yachikov I.M. Designing refractories for the tundish of a continuous caster // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2016. Vol. 56, № 6. P. 569-573.

14. Sotnikov A.L., Sholomitskii A.A. Monitoring alignment of mold oscillatory motion with CCM process stream axis // *Metallurgist*. 2017. Vol. 60. № 9/10. P. 1046-1053.