

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ВЫБОР МАТЕРИАЛА БОЙКОВ УСТАНОВКИ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ

Лехов О.С.¹, Михалев А.В.², Шевелев М.М.², Билалов Д.Х.¹

¹*Российский государственный профессионально-педагогический университет,
г. Екатеринбург;*

²*ОАО «Уральский трубный завод», г. Первоуральск*

Ключевые слова: установка, непрерывное литье, деформация, боек, напряжение, температура, модель, элемент.

Аннотация. Изложен современный подход к оценке напряженного состояния и выбору материала бойков установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации при получении стальных листов. Установлены закономерности распределения термоупругих напряжений в бойках при обжатии сляба. Приведена зависимость термоупругих напряжений от температуры их контактной поверхности при получении на установке стальных листов. Предложена методика обоснованного выбора материала бойков установки непрерывного литья и деформации.

STRESS STATE AND MATERIAL SELECTION OF ANVILS FOR THE COMBINED PROCESS OF CONTINUOUS CASTING AND DEFORMATION IN THE PRODUCTION OF STEEL SHEETS

Lekhov O.S.¹, Mikhalev A.V.², Shevelev M.M.², Bilalov D.Kh.¹

¹*Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg;*

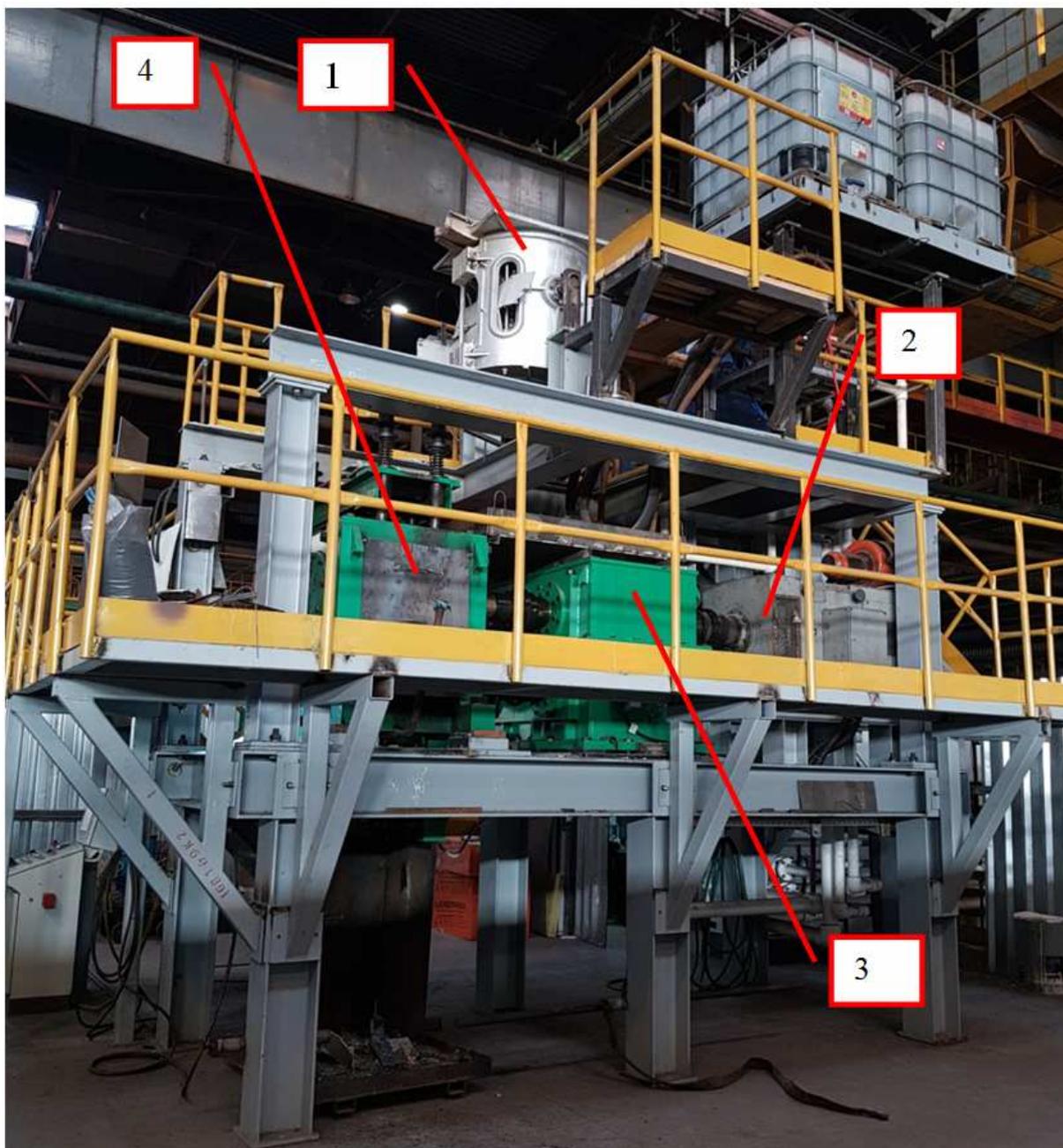
²*Ural pipe plant, JSC, Russia, Sverdlovsk region, Pervouralsk*

Keywords: installation, continuous casting, deformation, anvil, stress, temperature, model, element.

Abstract. A modern approach to assessing the stress state and selecting the material for the anvils of a combined continuous casting process and deformation during the production of steel sheets is presented. Regularities of distribution of thermoelastic stresses in anvils during slab compression are established. The dependence of thermoelastic stresses on the temperature of their contact surface when receiving steel sheets on the installation is given. The method of reasonable choice of material for continuous casting and deformation anvils is proposed.

Разработана ресурсосберегающая и компактная установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для производства стальных листов [1]. Участок опытной установки непрерывного литья и деформации ОАО «Уральский трубный завод» показан на рисунке 1.

Основными и наиболее нагруженными элементами установки непрерывного литья и деформации являются бойки, которые во время рабочего хода одновременно вытягивают стальную оболочку с жидкой фазой из кристаллизатора, формируют из нее тонкий сляб, обжимают за один проход сляб до размеров готового листа и выполняют его калибровку. При этом во время рабочего хода в бойках возникают напряжения от усилия обжатия и температурной нагрузки.



1 – индукционная печь; 2 – электродвигатель постоянного тока;
3 – редуктор – синхронизатор; 4 – станина установки

Рис. 1. Участок непрерывного литья и деформации ОАО «Уральский трубный завод»

В связи с этим для обоснованного выбора материала бойков необходимо определить напряженное состояние системы бойки-полоса при получении на установке стальных листов.

Рассмотрим процесс получения листа сечением 3×2250 мм из стали 09Г2С. Толщина полосы после смыкания широких стенок оболочки с жидкой фазой равна 30 мм, то есть обжимается тонкий сляб со степенью деформации за проход равной 90 %. Температура внешней поверхности сляба принимаем равную 1200 °С, а в его осевой зоне - 1450 °С.

Величина эксцентриситета эксцентриковых валов равна 5 мм, а их угловая скорость 110 мин^{-1} . Коэффициент трения между бойком и полосой составил 0,5, а

между медной стенкой неразъемного кристаллизатора и стальной оболочкой с жидкой фазой - 0,5.

Модель бойка для расчета и положение характерных линий приведена на рисунке 2.

линия P_10 находится от линии P_9 на глубине 5мм

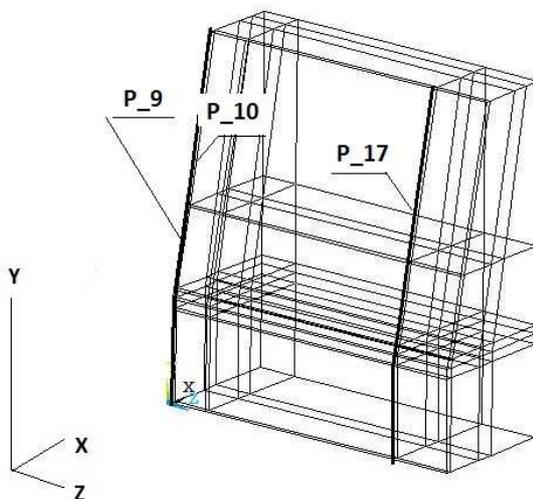


Рис. 2. Положение линий по длине бойка

Материал бойка - сталь 45ХНМ. Теплофизические свойства данной стали даны в работе [2]. Толщина бойка по верхней поверхности - 70 мм. Длина наклонной части бойка - 220 мм, а калибрующего участка 60 мм. Угол наклона рабочей поверхности бойка-12,5°.

Для определения напряженно-деформированного состояния металла в очаге циклической деформации поставлена и решена задача упруго-пластичности методом конечных элементов с использованием пакета ANSYS [1-3]. На рис. 3 приведена эпюра контактных напряжений по линии контакта очага деформации с бойком при получении листов толщиной 3 мм из стали 09Г2С на установке непрерывного литья и деформации.

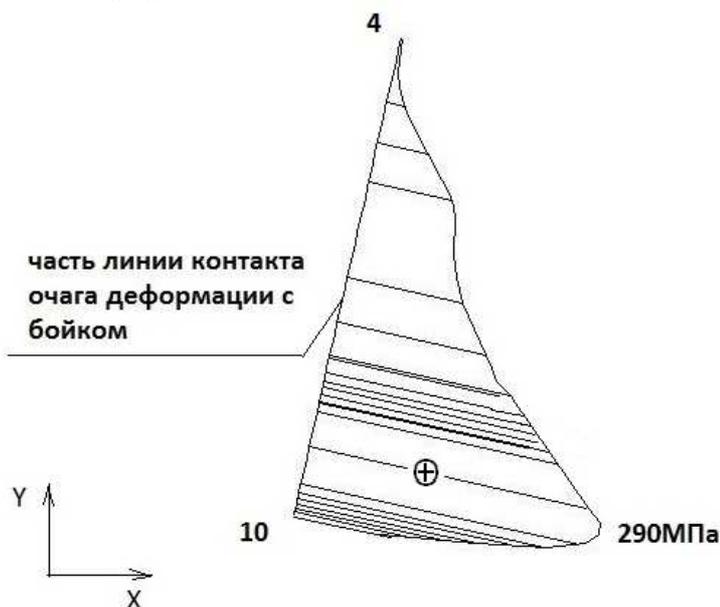


Рис. 3. Характер контактных напряжений на части линии контакта очага деформации с бойком

На следующем этапе расчета определяется температурное поле бойков установки на основе решения уравнения нестационарной теплопроводности методом конечных элементов в объемной постановке с использованием пакета ANSYS [2,3]. При расчете температурного поля приняты следующие граничные условия:

- на рабочую поверхность бойка во время обжата сляба действует плотность теплового потока – 4 МВт/м^2 ;
- во время холостого хода при охлаждении бойков водой эффективный коэффициент теплоотдачи – $2000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ [2];

Из расчета следует, что от воздействия теплового потока и последующего охлаждения бойков водой максимальная температура на поверхности контакта при обжати сляба достигает величины $520 \text{ }^\circ\text{C}$, затем на глубине $2,5 \text{ мм}$ она снижается до $120 \text{ }^\circ\text{C}$ [2]. Для рассчитанных полей температур были определены величины осевых (SX,SY,SZ) и эквивалентных (SEQV) термоупругих напряжений, возникающих в бойках б при обжати сляба (рисунок 4).

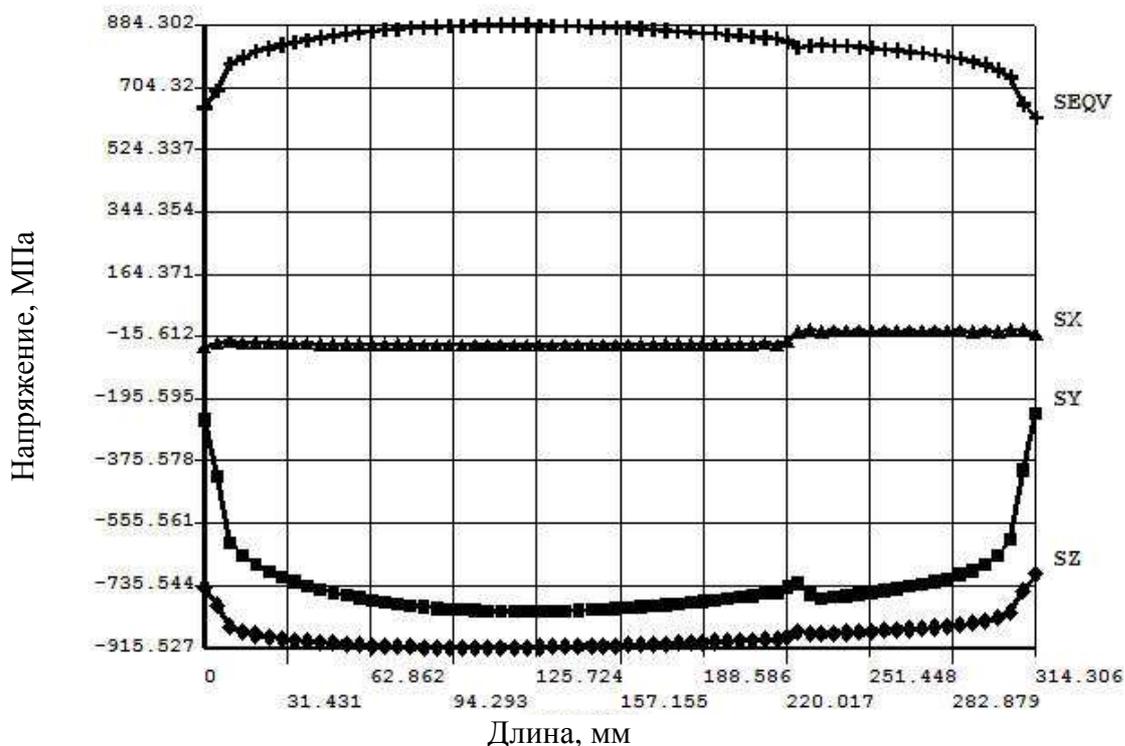


Рис. 4. Характер термоупругих напряжений вдоль линий P_9 от воздействия на боек без каналов температурного поля в конце обжата сляба

При обжати сляба наибольшие сжимающие термоупругие напряжения возникают на контактной поверхности бойков в направлении осей Y и Z и они соответственно равны минус 825 МПа и минус 915 МПа . В связи с этим очень важно установить зависимость сжимающих термоупругих напряжений в бойках установки от температуры их контактной поверхности. В результате расчета получен график зависимости сжимающих осевых термоупругих напряжений в бойках от температуры их контактной поверхности (рисунок 5). Этот график позволил по экспериментально замеренным температурам контактных поверхностей бойков опытной установки (рисунок 1) оценить уровень термоупругих напряжений и обоснованно выбрать материал бойков.

В результате замера температур контактной поверхности бойков опытной установки непрерывного литья и деформации после выхода из них стальной полосы установлено, что эта температура в отдельных случаях может достигать 500 °С. При этой температуре величина сжимающих термоупругих напряжений на контактной поверхности бойков достигает минус 860 МПа. С учетом этого бойки опытной установки изготовлены из стали 4Х4ВМФС. Это штамповая сталь имеет повышенную стойкость к образованию трещин разгара, предел текучести которой при температуре 500 °С равен 1309 МПа, что значительно превышает величину максимальных термоупругих напряжений.

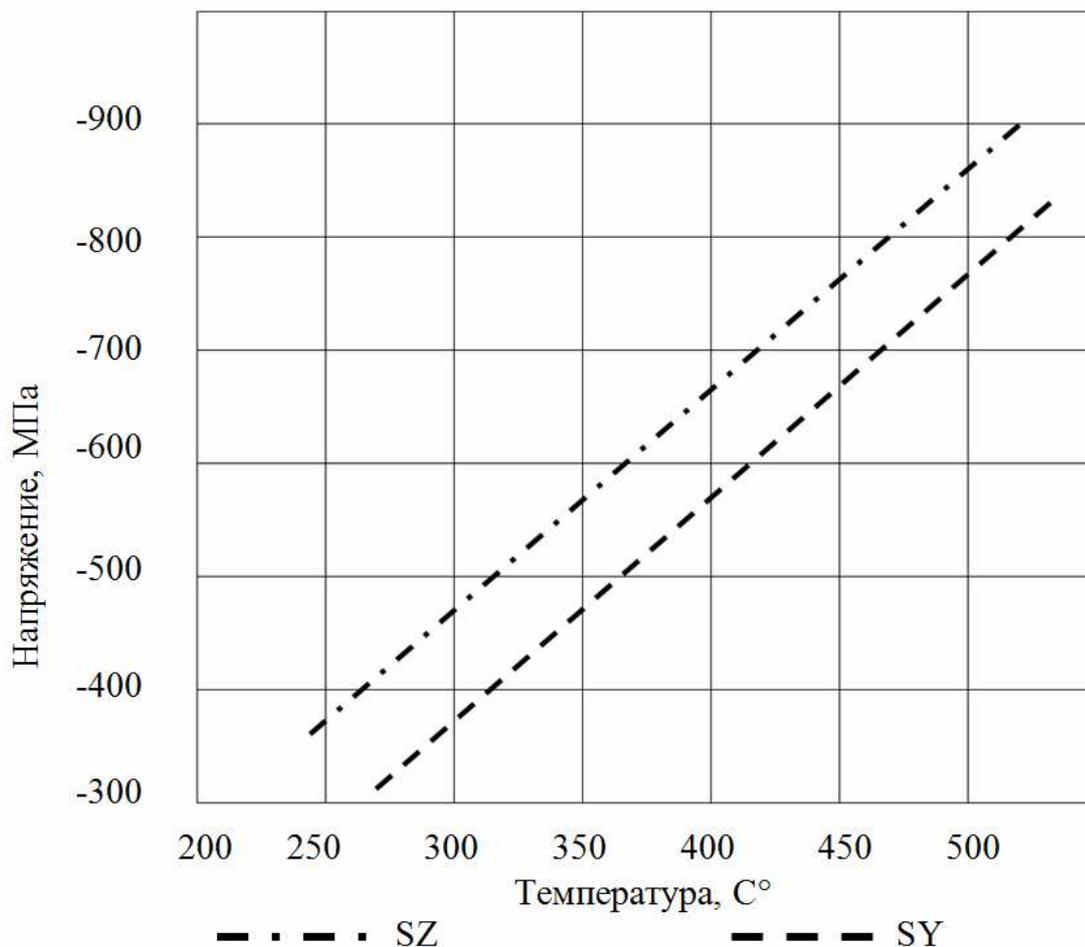


Рис. 5. Зависимость осевых сжимающих термоупругих напряжений в бойках от температуры контактной поверхности при обжатии сляба

На заключительном этапе расчета определены суммарные напряжения в бойках от усилия обжатия и температурной нагрузки при получении стальных листов на установке непрерывного литья и деформации. Установлено, что наибольших значений (до минус 1033 МПа) суммарные напряжения достигают в зоне очага циклической деформации в направлении оси Z [2].

В заключении следует отметить, что установлены закономерности распределения в бойках термоупругих напряжений. Даны рекомендации по выбору материала бойков при получении стальных листов на установке непрерывного литья и деформации.

Список литературы

1. Лехов О.С., Михалев А.В. Установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для производства листов из стали для сварных труб. Теория и расчет. – Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2017. – 151 с.
2. Лехов О.С., Михалев А.В., Шевелев М.М. Напряжения в системе бойки-полоса при получении листов из стали на установке непрерывного литья и деформации. – Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2018. – 125 с.
3. ANSYS. Structural Analysis Guide. Rel. 15.0.c.

Сведения об авторах:

Лехов Олег Степанович – д.т.н., профессор кафедры инжиниринга и профессионального обучения в машиностроении и металлургии, РГПГУ, г.Екатеринбург;

Михалев Александр Викторович – к.т.н., управляющий директор ОАО «Уральский трубный завод», г.Первоуральск;

Шевелев Максим Михайлович – к.т.н., коммерческий директор ОАО «Уральский трубный завод», г. Первоуральск;

Билалов Дамир Харасович – к.т.н., доцент кафедры инжиниринга и профессионального обучения в машиностроении и металлургии, РГПГУ, г.Екатеринбург.