

Черномас В. В., Саликов С. Р.
V.V.Chernomas, S.R.Salikov

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ
МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ НА УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ
И ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА**

**TECHNOLOGICAL CRITERION FOR PRODUCING HIGH-QUALITY METAL ITEMS
AT A CONTINUOUS CASTING/DEFORMATION PLANT**



Черномас Вадим Владимирович – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr.Vadim V. Chernomas – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of a Laboratory at the Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur).



Саликов Степан Рудольфович – аспирант Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr.Stepan R.Salikov – PhD Candidate, the Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur).

Аннотация. Для получения качественных непрерывно литых деформированных заготовок, отвечающим заданным размерно-геометрическим характеристикам и необходимым свойствам, на установке непрерывного литья и деформации металла вертикального типа необходимо учитывать необходимый критерий этого процесса. Этот критерий включает в себя режимы работы устройства, его конструктивные особенности, способы охлаждения и позволяет не только получать качественные металлоизделия, но и обеспечивает безаварийную работу данного устройства.

Summary. To produce high-quality continuously cast deformed billets with specified size/geometry and other pre-defined properties at a vertical-type continuous casting and deformation plant, a necessary criterion for this process should be considered. This includes operational modes of the installation, its design, cooling methods; it allows producing high quality metal items, and also ensures failure-free operation of the plant.

Ключевые слова: литейно-ковочный модуль, непрерывное литьё, деформация металла, кристаллизатор, технологический критерий.

Key words: casting and forging unit, continuous casting, deformation of the metal, mold, Technological criteria.

УДК 621.771:539.3

В институте машиноведения и металлургии ДВО РАН разработана технология и необходимое оборудование для получения металлоизделий способом непрерывного литья и деформации металла (см. рис. 1) [1].

Для обеспечения устойчивости технологического процесса получения металлоизделий на вертикальном литейно-ковочном модуле (ЛКМВ), а главное, получения качественных металлоизделий с заданными размерами и свойствами, необходимо учитывать необходимые характеристики этого процесса. Для ЛКМВ способы охлаждения кристаллизатора и бойка являются наиболее важными характеристиками.

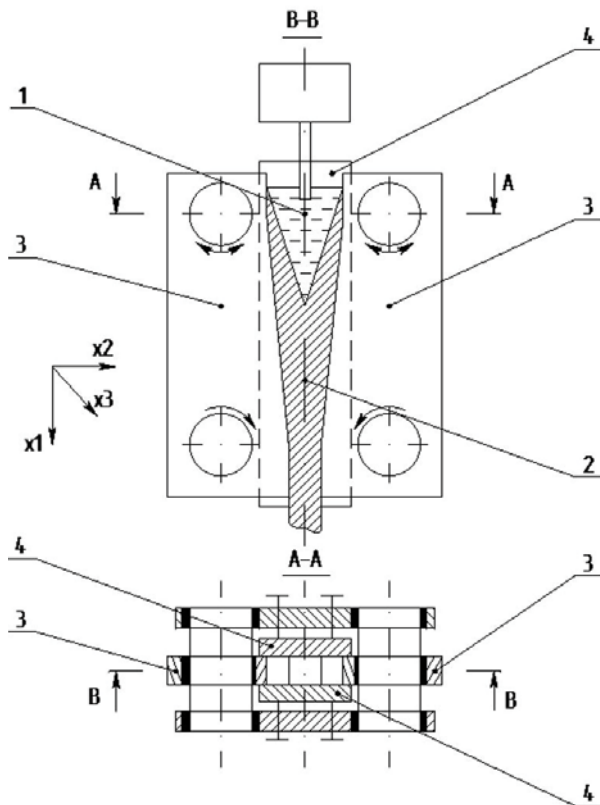


Рис. 1. Принципиальная схема устройства: 1 – металл в жидком состоянии; 2 – металл в твердом состоянии; 3 – наклонный боек (стенка кристаллизатора); 4 – боковые стенки

Кристаллизатор имеет четыре охлаждаемые стенки – два бойка 3 и две боковые плиты 4 (см. рис. 1), причем кристаллизатор может охлаждаться как с помощью всех четырех стенок 3 и 4, так и с помощью двух (бойков 3). В свою очередь, бойки имеют два варианта охлаждения: с помощью одного канала прямоугольного поперечного сечения с размерами 20×5 мм (см. рис. 2) и двух каналов с размерами поперечного сечения 5×5 мм (см. рис. 3).

Рассмотрим влияние указанных характеристик на распределение температурных полей в центральной части заготовки (плоскость симметрии x_1x_3), в середине рассматриваемой области и вблизи поверхности бойка. Если все стенки кристаллизатора, имеющего линейный размер в верхней части 40 мм и в калибрующей части 15 мм, будут охлаждаемыми, то график температурного поля в виде изолиний будет иметь вид рис. 4. Из графика видно, что после заливки в кристаллизатор расплавленного металла распределение температур по плоскости сечения неравномерно, градиент температур составляет 1000°C по высоте кристаллизатора (см. рис. 4, а). Для сечений, в середине рассматриваемой области (см. рис. 4, б) и вблизи поверхности бойка (см. рис. 4, в), градиент температур составляет 900°C при максимальном и минимальном значениях температуры – 1500°C и 600°C соответственно. Можно отметить наиболее плавный характер изолиний температур по высоте и ширине рассматриваемой области вблизи поверхности бойка (см. рис. 4, в).

На рис. 5 схематично представлена конфигурация жидкой фазы в закристаллизовавшемся металле в конце цикла обжатия заготовки. На рисунке жидкая фаза имеет форму изолированной по боковой поверхности лунки, глубина проникновения жидкой фазы не больше 0,35 высоты кристаллизатора. Толщины корочек затвердевшего металла на внутренней поверхности в верхней части кристаллизатора составляют 0,15 – 0,2 толщины заготовки. Такая конфигурация и соотношение количества жидкой и твердой фаз значительно повышают усилия, которые необходимы для деформации заготовки в конце цикла ее обжатия, а следовательно, приводят к дополнительной нагрузке на приводные валы ЛКМВ.

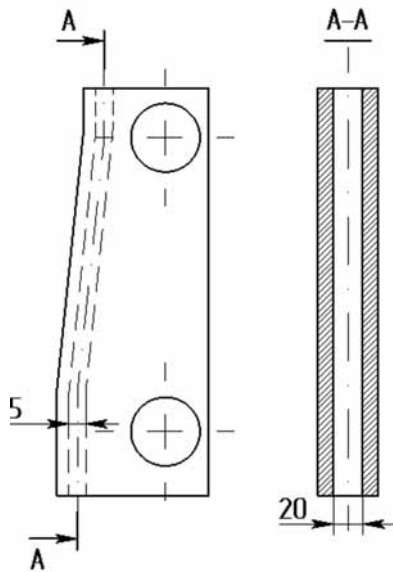


Рис. 2. Боек с одним каналом охлаждения прямоугольного сечения с размерами 20×5 мм

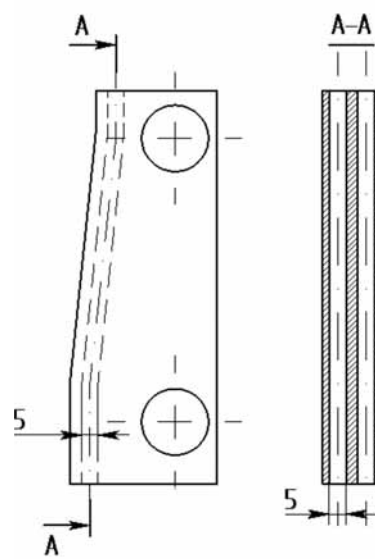


Рис. 3. Боек с двумя каналами охлаждения с размерами сечения 5×5 мм

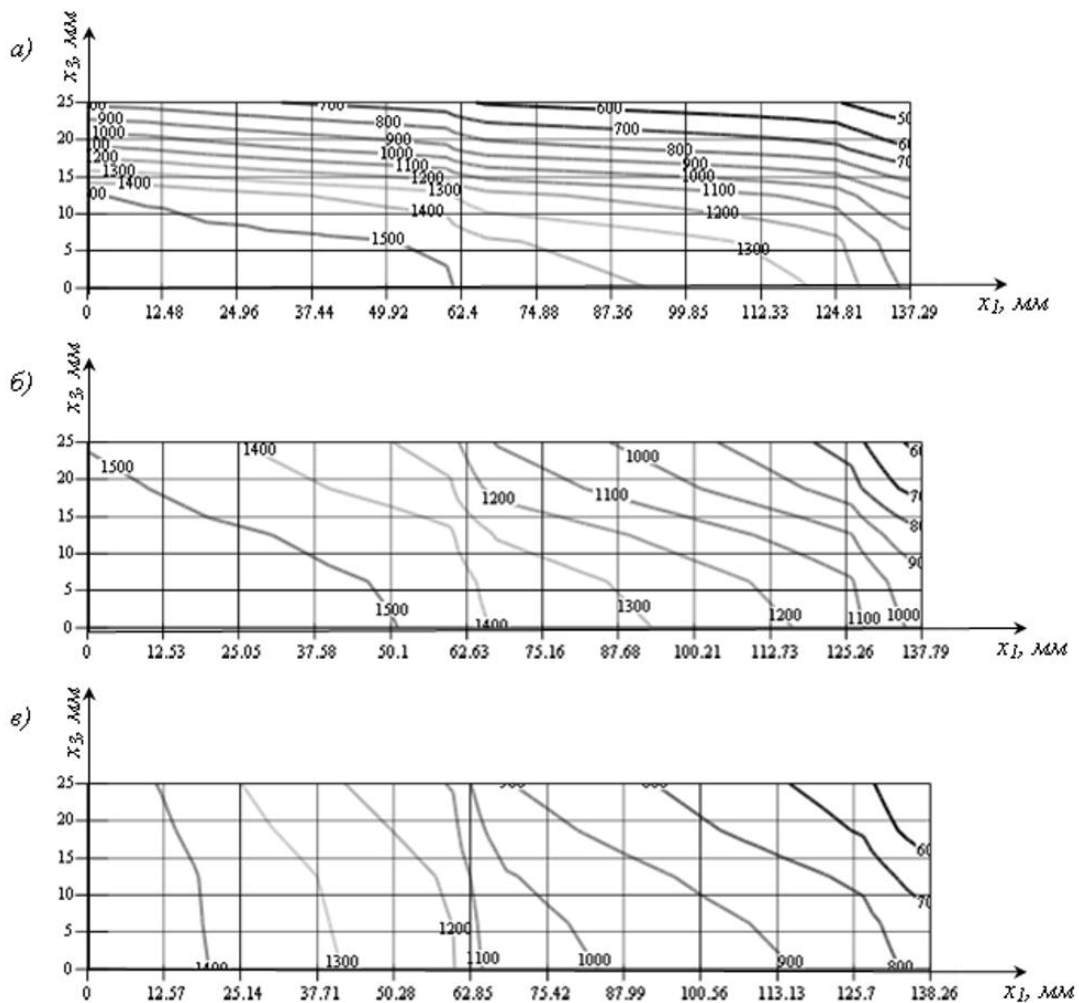


Рис. 4. Распределение значений температурных полей ($^{\circ}\text{C}$) кристаллизатора ЛКМВ, охлаждаемого с помощью всех стенок, в сечении: а – по плоскости симметрии x_1x_3 ; б – в середине рассматриваемой области; в – вблизи поверхности бойка

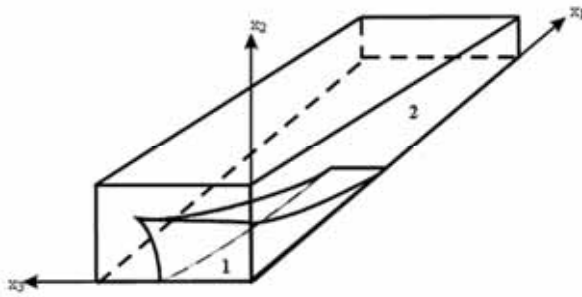


Рис. 5. Конфигурация жидкой фазы (1) в закристаллизовавшемся металле (2)

Графики температурных полей при втором варианте охлаждения кристаллизатора (охлаждаются только бойки) представлены на рис. 6. В этом случае температурные поля заготовки существенно отличаются от распределения температур, характерных для первого варианта охлаждения кристаллизатора ЛКМ. Температурные поля различных сечений рассматриваемой области характеризуются величинами градиентов температур. Распределение температур по плоскости симметрии неравномерно, максимальный градиент температуры

составляет 500°C по высоте кристаллизатора (см. рис. 6, а). Для сечений в середине рассматриваемой области (см. рис. 6, б) градиент температур составляет 600°C при максимальном и минимальном значениях температуры – 1500°C и 900°C соответственно. Вблизи поверхности бойка (см. рис. 6, в) градиент температур составляет 800°C при максимальном и минимальном значениях температуры – 1400°C и 600°C .

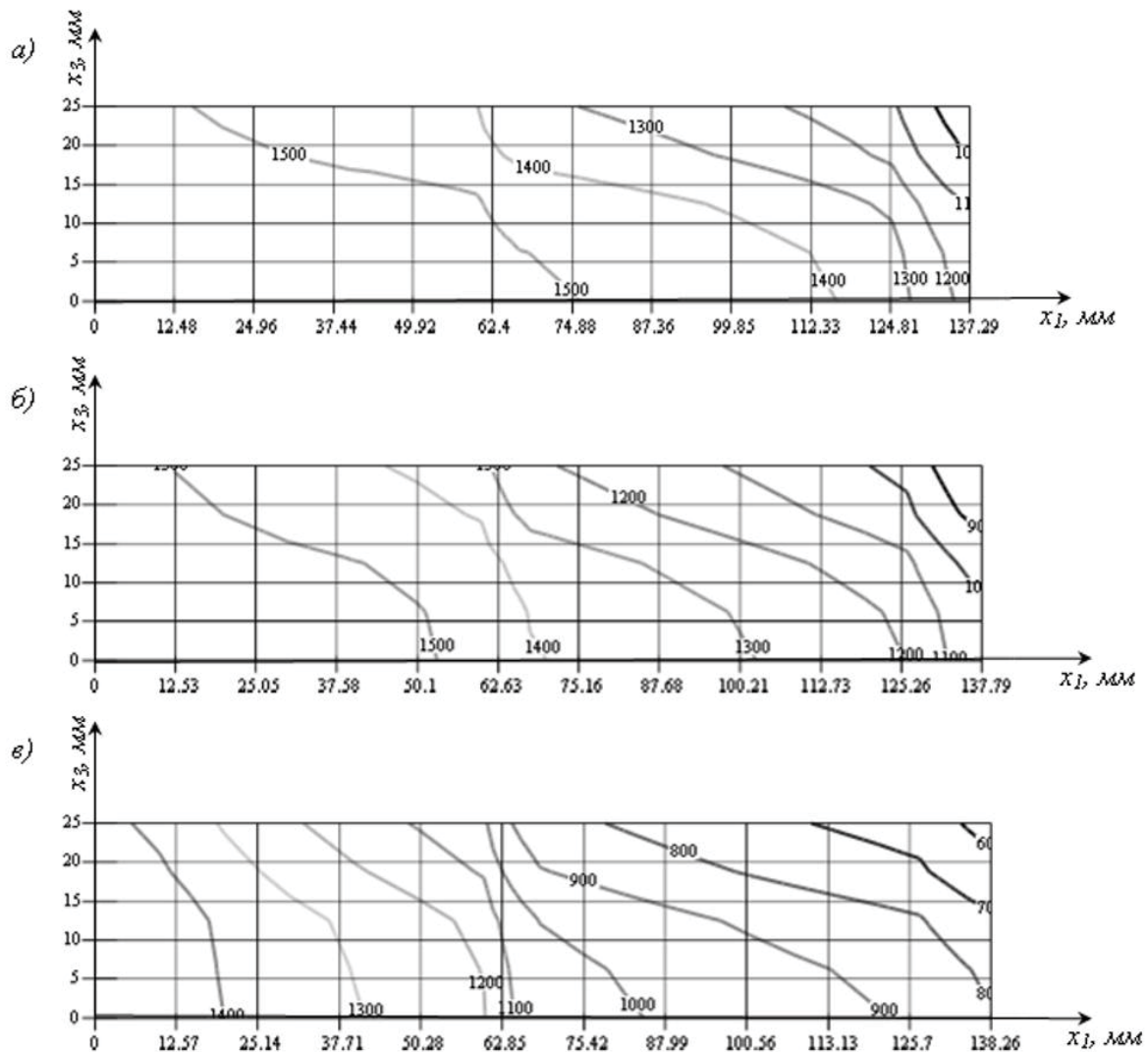


Рис. 6. Распределение значений температурных полей ($^{\circ}\text{C}$) кристаллизатора ЛКМВ, охлаждаемого только бойками, в сечении: а – по плоскости симметрии x_1x_3 ; б – в середине рассматриваемой области; в – вблизи поверхности бойка.

На рис. 7 схематично представлена конфигурация жидкой фазы в закристаллизовавшемся металле в конце цикла обжатия заготовки. На рисунке видно, что жидкая фаза имеет форму изолированной по двум боковым поверхностям лунки. Глубина проникновения жидкой фазы не превышает 0,45 высоты кристаллизатора. Отсутствуют корочки затвердевшего металла на внутренней поверхности стенок в верхней части кристаллизатора. На поверхности бойков образуются корочки, но их толщина незначительна и не превышает 0,1 от толщины заготовки. При такой конфигурации и соотношении количества жидкой и твердой фаз усилия, которые необходимы для деформации заготовки в конце цикла ее обжатия, значительно меньше, чем при первом варианте охлаждения кристаллизатора ЛКМВ, поэтому с технологической точки зрения наиболее приемлемым вариантом охлаждения кристаллизатора является второй вариант.

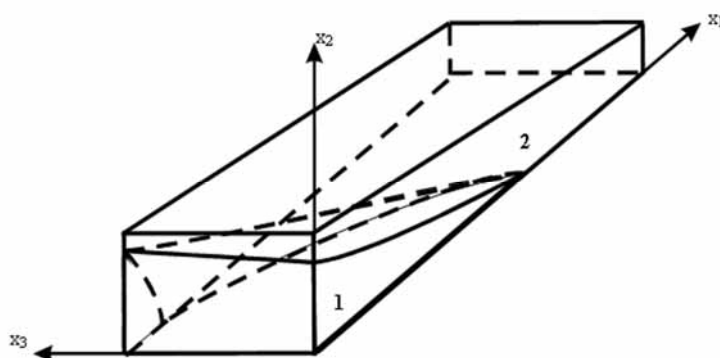


Рис. 7. Конфигурация жидкой фазы (1)
в закристаллизовавшемся металле (2)

Для оценки влияния способа охлаждения бойков на температурный режим процесс охлаждения осуществлялся с помощью канала прямоугольного поперечного сечения с размерами 20 × 5 мм (ранее боек охлаждался двумя каналами с размерами поперечного сечения 5 × 5 мм). При аналогичном размере кристаллизатора наблюдается следующая картина (см. рис. 8).

Распределение температур по плоскости симметрии в направлении ширины бойка. Максимальный градиент температуры составляет 400 °С по высоте кристаллизатора (см. рис. 8, а). Глубина проникновения жидкой фазы в центре заготовки увеличивается и составляет 200 мм. Корочки в верхней плоскости кристаллизатора не образуются. Для сечения в середине рассматриваемой области (см. рис. 8, б) максимальный градиент температуры составляет 500 °С по высоте кристаллизатора. Глубина проникновения жидкой фазы в центре заготовки увеличивается и составляет 82 мм. В этом сечении корочки в верхней плоскости кристаллизатора также не образуются. Для сечения вблизи поверхности бойка (см. рис. 8, в) градиент температур составляет 600 °С при максимальном и минимальном значениях температуры – 1500 °С и 900 °С соответственно. Глубина проникновения жидкой фазы в центре заготовки составляет 10 мм. Толщина образовавшейся в этом сечении корочки в верхней плоскости кристаллизатора – 8 мм.

Из анализа полученных расчетных данных можно сделать вывод, что способ охлаждения бойков влияет на температурный режим получаемой заготовки. Сравнивая значения температурных полей при условии наличия двойного канала охлаждения в бойке и одинарного канала охлаждения, можно отметить, что при двойном канале охлаждения равномерность распределения температур по высоте и толщине заготовки меньше, чем при одинарном канале охлаждения. Об этом свидетельствует более высокий градиент температур для всех рассматриваемых сечений. При этом глубина проникновения жидкой фазы по высоте заготовки больше, чем при двойном канале охлаждения.

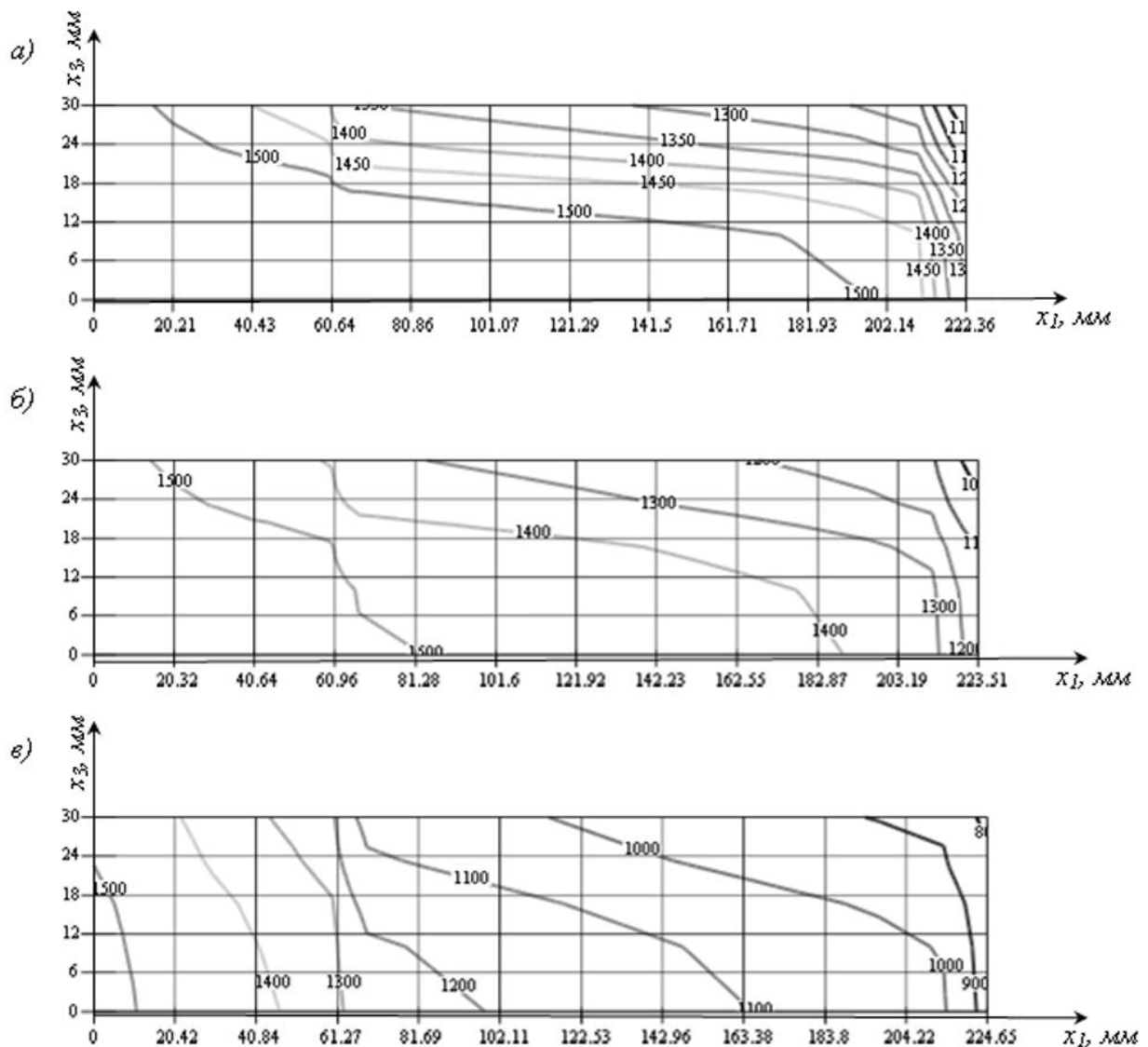


Рис. 8. Распределение значений температурных полей ($^{\circ}\text{C}$) кристаллизатора ЛКМВ в сечении при использовании двойного канала охлаждения бойка: а – по плоскости симметрии x_1x_3 ; б – в середине рассматриваемой области; в – вблизи поверхности бойка

Для обобщенного анализа всех полученных расчетных данных по температурным полям заготовки в зависимости от способов охлаждения кристаллизатора и бойка был введен

Черномас В. В., Саликов С. Р.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ НА УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА

технологический критерий оценки, который позволяет определить технологически приемлемые границы его варьирования. В качестве такого критерия был принят показатель, характеризующий глубину (высоту) проникновения жидкой фазы в плоскости симметрии x_1x_3 в конце цикла обжатия заготовки. Границы варьирования глубиной проникновения жидкой фазы определяли из условий, характеризующих безаварийность работы ЛКМ. С одной стороны, исключали возможность проникновения жидкой фазы в калибрующую часть кристаллизатора ЛКМ, чем предотвращали возможность прорыва жидкой фазы вне зоны кристаллизатора ЛКМ. С другой стороны, обеспечивали минимальную нагрузку на привод подвижных частей кристаллизатора ЛКМ за счет уменьшения количества деформируемой твердой фазы в верхней части кристаллизатора. Окончательно это условие записывали как:

$$\frac{1}{4}l \leq l_L \leq \frac{4}{5}l, \quad (1)$$

где l_L – глубина проникновения жидкой фазы по высоте заготовки, мм; l – высота кристаллизатора, мм.

Используя условие (1), анализировали полученные расчетные данные температурных полей заготовки в зависимости от способов охлаждения кристаллизатора и бойка. Из анализа расчетных данных можно сделать следующие выводы. Охлаждение вертикальных стенок кристаллизатора недопустимо (см. рис. 4), поскольку полученные данные не удовлетворяют условию (1). Все данные, полученные для второго варианта охлаждения кристаллизатора, удовлетворяют условию (1) и являются технологически приемлемыми (см. рис. 6 и рис. 8).

Заключение

Таким образом, полученный критерий глубины проникновения жидкой фазы, включающий в себя многие параметры работы ЛКМВ, является технологическим критерием получения качественных металлоизделий на установке непрерывного литья и деформации металла и позволяет осуществлять процесс безаварийной работы установки с оптимальными нагрузками на ее узлы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретическое и экспериментальное исследование непрерывного процесса кристаллизации металла при одновременном его деформировании / В. И. Одинокоев, Б. И. Проскуряков, В. В. Черномас. – М.: Наука, 2006. – 111 с.