

УДК 681.5.08

Зайцев В.С.<sup>1</sup>, Пономарёв Е.Ю.<sup>2</sup>

### СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ГОРЯЧИХ ЗАГОТОВОК

*Разработана система технического зрения для измерения геометрических размеров горячих заготовок, которая может быть использована, как на обжимном заготовочном стане, так и на машинах непрерывного литья заготовок. Предложенная СТЗ позволяет выполнять измерения с высокой точностью без остановки технологического процесса.*

Внедрение безотходных, малоотходных и энергосберегающих технологий на основе повсеместного использования последних достижений науки и техники являются одной из приоритетных задач современности. В прокатном производстве одним из мероприятий, направленных на использование внутренних резервов, является снижение непроизводительных потерь металла в процессе прокатки.

Расходные коэффициенты металла при прокатке в передельных цехах существенно зависят от параметров заготовок, поступающих с заготовочных станов (ЗС) и машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Повышение точности при реализации раскройных планов на ЗС и МНЛЗ оказывает существенное влияние как на величину потерь металла в передельных цехах, так и на рациональный вес слитков, поступающих на ЗС.

Колебания веса погонного метра рельсовых заготовок и литых слябов настолько значительны из-за непостоянства площади их поперечного сечения, что оператором при их порезке (при ручном раскрое) не всегда удается получить заготовки нужного веса.

При весе заготовок меньше расчетного возможно получение укороченных рельсов или листов. Это отрицательно сказывается на экономике производства, поскольку укороченные рельсы и листы реализуются по более низкой цене. При весе заготовок больше расчетного возникают непроизводительные затраты на обработку металла, который в конечном счете уходит в обрезь.

Для уменьшения потерь подобного вида предложено корректировать длины раскраиваемых заготовок на ножницах поперечной резки на обжимных станах, либо на машинах газовой резки на МНЛЗ на величины, учитывающие отклонения площади поперечного сечения от номинального. К сожалению, в настоящее время не существует надёжных устройств, которые с достаточной точностью позволяли бы измерять размеры поперечного сечения (высоту  $H$  и ширину  $B$ ) поперечного сечения прямоугольных заготовок [1 – 4].

Расчётную длину заготовки  $L_p$  при этом рекомендуется определять по выражению:

$$L_p = \Delta L_t + F_n L_n / (F_n \pm \Delta F \pm \Delta F_k), \quad (1)$$

где  $F_n$  и  $L_n$  – номинальные площадь поперечного сечения и длина заготовки,  $F_n = B_n H_n$ ;

$\Delta F$  – отклонение площади поперечного сечения заготовки,  $\Delta F = B \Delta H + H \Delta B$ , где  $\Delta H$  и  $\Delta B$  – отклонения высоты и ширины измеренных значений  $H$  и  $B$  от номинальных значений;

$\Delta F_k$  – величина коррекции отклонения площади поперечного сечения, определяемого по результатам взвешивания слитка на ЗС (поправка не присутствует при раскрое на МНЛЗ);

$\Delta L_t$  – температурная поправка,  $\Delta L_t = \alpha L_n (t_v - t_0)$ , где  $\alpha$  – коэффициент температурного расширения металла.

<sup>1</sup>ПДТУ, д-р техн. наук, проф.

<sup>2</sup>ПДТУ, аспирант

Целью настоящей работы является описание способа, предложенного авторами, и предназначенного для бесконтактного измерения геометрических размеров поперечного сечения прямоугольных заготовок.

В основу предложенного способа положена обработка цифрового изображения раскалённого металла, получаемого с помощью промышленных цифровых камер (ЦК). Рассматривались два варианта устройства для определения высоты раскалённого металла.

Первый способ основан на обработке изображения, получаемого с помощью одной ЦК. Второй способ предусматривает использование для этих целей двух ЦК. В обоих случаях в состав измерительной системы входит ЭВМ, предназначением которой есть обработка изображений снятых с ЦК и выдачи информации о геометрических размерах раската. Такие устройства образуют системы технического зрения (СТЗ).

*Первый способ.* Видеокамера устанавливается на фиксированном расстоянии от рольганга на стойке, не связанной с конструкцией этого рольганга. Оптическая схема (ОС) такой СТЗ показана на рис. 1. На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 – рольганг, 2 – раскалённый прокат,  $z$  – расстояние от раскалённой грани металла до оптического центра объектива ЦК,  $f$  – фокусное расстояние объектива ЦК;  $h$  – изображение грани металла на поверхности твердотельного датчика ЦК;  $H_m$  – полная высота видеокадра, содержащая  $N$  пикселей. Предположим, что изображение грани раската  $h$  содержит  $n$  пикселей. Тогда в мм. высота изображения грани раската  $h$  будет определена, как  $h = wn$ , где  $w$  – чувствительность твердотельного датчика ЦК, равная  $w = H_m / N$ , мм/пиксель.

Соответствующая этому изображению высота раската  $H$  будет равна [4]:

$$H = hz / f. \quad (2)$$

Для проведения измерений высоты раската  $H$  с точностью не хуже  $\pm 1$  мм, как этого требуют технологические инструкции, этот способ предъявляет высокие требования к установке ЦК [5]. Оптическая ось объектива ЦК должна быть строго перпендикулярна к

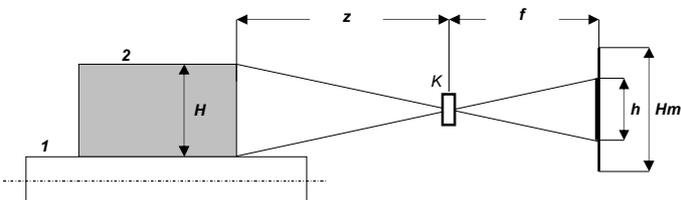


Рис. 1 – Оптическая схема СТЗ с одной видеокамерой

вертикальной грани металла. При этом относительная ошибка установки ЦК на расстоянии  $z$ , не должна превышать 0,1 % и среднеквадратическое отклонение при определении параметра  $n$ , не должно превышать  $\pm 3$  пикселя.

Необходимо также учитывать специфические технологические условия прокатного производства на обжимном реверсивном стане, а именно существенные отклонения положения раската от плоскости наведения объектива ЦК вследствие его поперечного перемещения в калибрах. Поэтому, применение СТЗ в таком виде возможно только в случае предварительной остановки технологического процесса прокатки и принудительного перевода раската в фиксированное положение с целью снижения относительной ошибки установки ЦК на расстоянии  $z$  до величины меньшей 0,1 %. На МНЛЗ таких трудностей меньше, но и в этом случае обеспечение такой относительной ошибки выглядит сомнительно. Поэтому проблематично выглядит также и осуществление измерений высоты раската такой СТЗ с абсолютной погрешностью  $\pm 1$  мм.

Проведенные авторами исследования показывают, что без остановки ТП и точного измерения высоты раската с помощью СТЗ, необходимо либо иметь информацию о расстоянии между гранью раската и оптическим центром объектива ЦК  $z$  либо исключить данный параметр из расчётного выражения (2).

*Второй способ.* Этот способ предусматривает использование двух цифровых камер, расположенных определённым способом (рис. 2).

На рис. 2 приняты следующие обозначения: 1 – рольганг, 2 – раскалённый прокат, 3 – блок обработки растровых изображений снятых с ЦК, 4 – блок расчета высоты заготовки. С учётом выполненных ранее рассуждений можно для каждой цифровой камеры ( $K1$  и  $K2$ ) записать систему уравнений:

$$\begin{cases} H = h_1 z_1 / f_1 \\ H = h_2 z_2 / f_2 = h_2 (z_1 + L) / f_2 \end{cases} \quad (3)$$

Решая систему уравнение (3) относительно  $H$ , с учётом использования однопипных цифровых камер  $w = w_1 = w_2$ , а также учитывая, что  $h_1 = wn_1$  и  $h_2 = wn_2$  имеем:

$$H = Lwn_1n_2 / (n_1f_2 - n_2f_1). \quad (4)$$

Таким образом, для расчета высоты раската с помощью такой СТЗ в соответствии с выражением (4) блок 4 рис. 2 необходимо определять данный параметр в системах координат растровых изображений снятых с цифровых камер ( $K1 - n_1$  и  $K2 - n_2$ ). Данная задача решается программными средствами СТЗ на ЭВМ для каждой ЦК в отдельности блок 3. При этом как отмечалось [5] СКО ошибки определения высоты раската в координатах растрового изображения не должно превышать  $\pm 3$  пикселя. Кроме того, данная задача также должна решаться в автоматическом режиме.

Высота раската в координатах растрового изображения это расстояние между верхним и нижним контуром раската на растровом изображении. Изображение контура раската имеет размытую форму вследствие воздействия ряда объективных факторов, среди которых необходимо отметить: воздействие дифракционных явлений на границе зрачка объектива ЦК, ограниченная глубина резкости объектива ЦК, парообразование, движение раската и т.д. Таким образом, задачу выделения контуров раската на растровом изображении необходимо решать в условиях неопределенности их положения, что приводит к появлению дополнительных погрешностей.

Для определения положения контуров на растровых изображениях принято использовать дифференциальные (контурные) детекторы с последующим пороговым ограничением [6]. Анализ точностных характеристик дифференциальных детекторов свидетельствует о возможности их использования в условиях существенного размытия контуров и зашумленности изображения. Проведенные авторами исследования показывают, что необходимая точность определения положения контура может быть достигнута только в случае последующей интегральной оценки его положения по всей длине, в пределах диаметра размытия. Таким образом, для точного определения положения контура необходима предварительная оценка принадлежности всех найденных с его помощью пикселей непосредственно контуру раската. В рассматриваемом случае дифференциальный детектор будет чувствителен также к текстурному рисунку в плоскости раската, поэтому автоматическое решение данной задачи резко усложняется. На рис. 3 представлен автоматический алгоритм определения высоты раската в координатах растрового изображения.

На вход алгоритма подается видеопоследовательность  $Jk$  снятая с ЦК. В блоке 1 происходит определение кадра видеопоследовательности, который содержит изображение грани заготовки  $J$ . В блоке 2 изображение раската представляется в бинарной форме  $Jb$ , после чего в блоке 3 происходит обработка бинарного изображения раската и формирование предварительных контуров раската. В качестве них берутся положение верхнего  $Yv$  и положение нижнего  $Yn$  контуров бинарного изображения раската. В блоке 4 изображение

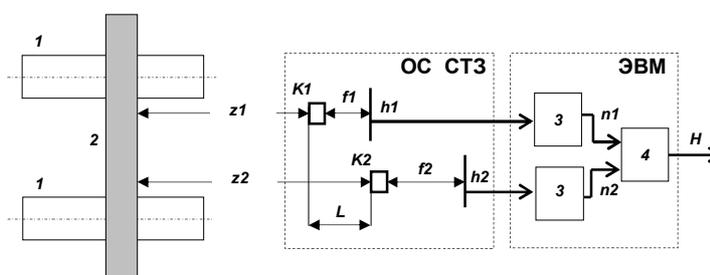


Рис. 2 – СТЗ двумя цифровыми камерами

раската обрабатывается дифференциальным детектором с последующим пороговым ограничением  $Jd$ . В блоке 5 происходит формирование уточненных контуров раската  $Kv$  и  $Kn$ ,

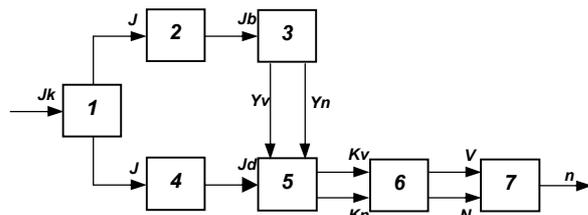


Рис. 3 – Алгоритм автоматической обработки растровых изображений раската

то есть формируются массивы из координат пикселей, которые найдены контурным детектором и лежат в окрестности предварительных контуров  $Yv$  и  $Yn$ . В блоке 6 происходит оценка  $Y$  координат положения верхнего  $V$  и нижнего  $N$  контуров раската. Выполняется путем усреднения  $Y$  координат пикселей входящих в соответствующие уточненные контура. В

блоке 7 происходит оценка высоты раската в координатах растрового изображения  $n$ .

Дальнейшей перспективой есть разработка практических рекомендаций к использованию предложенных СТЗ, для информационного обеспечения систем оптимального дозирования метала, как на обжимном стане, так и на МНЛЗ.

### Выводы

1. Разработанная СТЗ позволяет определять геометрические размеры горячих заготовок, а именно высоту заготовок на обжимных станах и на МНЛЗ с точностью  $\pm 1$  мм, как этого требуют технологические инструкции. В состав такой СТЗ входят две промышленные ЦК расположенные определённым способом в соответствии с описанной схемой и ЭВМ. Такая структура СТЗ позволяет решать данную задачу без остановки технологического процесса в условиях существенных отклонений положения грани горячего раската от плоскости наведения объективов ЦК.
2. Для надёжного и автоматического выделения контуров раската на растровом изображении разработан соответствующий алгоритм, основанный на использовании дифференциального детектора. Данный алгоритм позволяет ЭВМ давать оценку геометрического размера заготовки с заданной точностью.

### Перечень ссылок

1. О снижении потерь при производстве мерных листов на толстолистовом стане / В.С. Зайцев, В.Г. Носов, М.С. Бабицкий, В.В. Грицай // Сталь. – 1981. – № 5. – С. 46 – 48.
2. А.с. 387620 СССР, МКИ G06f 15/20 Устройство для оптимального раскроя проката.
3. А.с. 413726 СССР, МКИ B23q 15/06 Система рационального пореза прокатанных на заготовочном стане полос металла.
4. Пат. 17491 А Украина, МКИ B22D 11/126 Пристрій для одержання заготовок стабільної маси на машинах безперервного лиття заготовок.
5. Зайцев В.С. Застосування систем технічного зору для вимірювання геометричних розмірів нагрітого прокату / В.С. Зайцев, Є.Ю. Пономарьов // Вісник Призов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2008. – Вип. № 18, ч. 2. – С. 161 – 166.
6. Форсайт Д. Компьютерное зрение: современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.

Рецензент: В.И. Капланов  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 28.02.2009