

УДК 621.967.1

Сатонин А. В.
Стриченко С. М.
Завгородний А. В.
Житлова А. А.

ЧИСЛЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПОПЕРЕЧНОЙ РЕЗКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Одной из технологических схем обработки металлов давлением, широко используемых в рамках машин непрерывного литья сортовых заготовок (МНЛЗ), является процесс их поперечной резки на мерные длины, осуществляемый по мере полной кристаллизации [1]. С учетом специфики непрерывного литья именно сортовых заготовок, имеющих квадратную форму поперечного сечения, данный процесс реализуют на ножницах поперечной резки с ножами соответствующей треугольной формы и траекторией их взаимного перемещения, наклоненной под углом $p/4$ к горизонтальной плоскости (рис. 1, а).

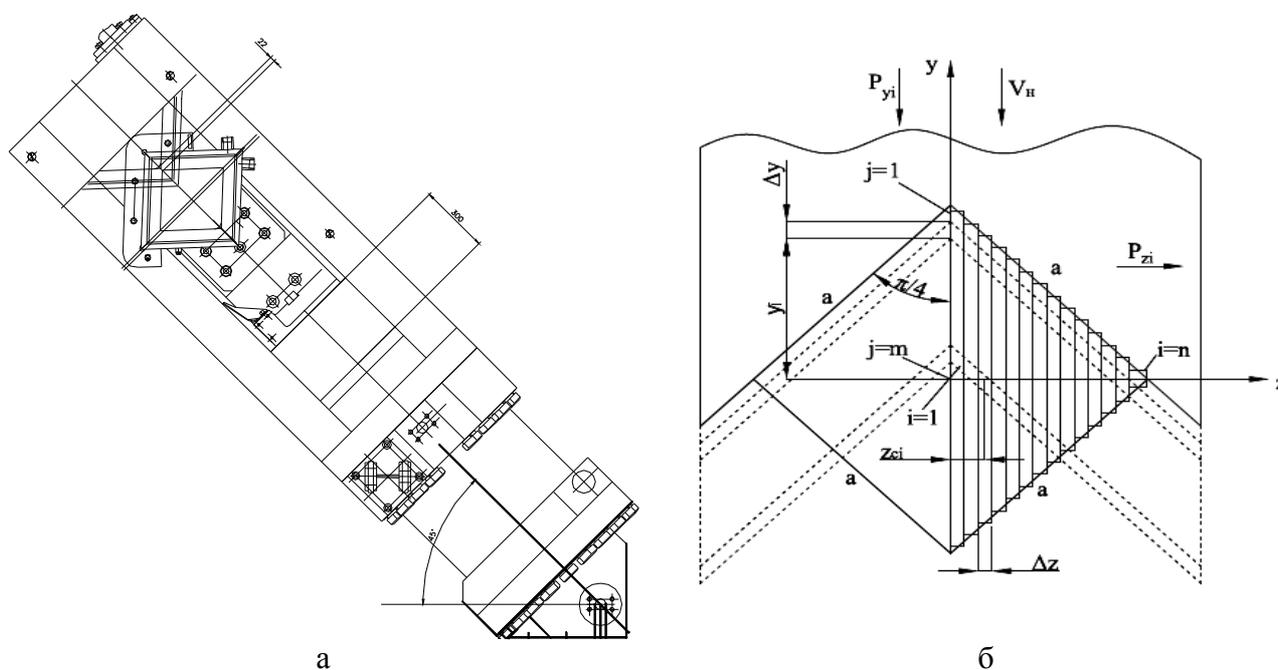


Рис. 1. Общий вид (а) и расчетная схема (б) процесса резки на мерные длины непрерывнолитых заготовок

Согласно известным и достаточно широко используемым методикам расчета [2, 3] вся протяженность процесса горячей поперечной резки включает в себя три стадии, а именно, вмятие, резание и отрыв (рис. 2), при этом максимальное значение силы традиционной схемы процесса поперечной резки предложено определять как:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 S_g b h_0 (1 - e_g), \quad (1)$$

где $k_1 = 0,6 \dots 0,7$ – коэффициент, характеризующий соотношение напряжений сдвига t_c и предела прочности S_g металла заготовки, определяемого его химическим составом и температурными условиями реализации процесса резки;

$k_2 = 1,1 \dots 1,2$ – коэффициент, учитывающий увеличение силы резки при затуплении ножей вследствие их длительной эксплуатации;

$k_3 = 1,15...1,25$ – коэффициент, учитывающий влияние бокового зазора между ножами;

b, h_0 – ширина и исходная толщина разрезаемой заготовки;

e_ϵ – коэффициент относительной глубины вмятия, равный отношению глубины внедрения ножей в металл S к исходной толщине h_0 на завершающей стадии процесса внедрения (см. рис. 2).

Аналогичный подход в работах [2, 3] предложено использовать и применительно к процессу горячей поперечной резки заготовок с более сложной непрямоугольной, например, круглой формой поперечного сечения с заменой его на прямоугольное, имеющее эквивалентную площадь. С учетом этого применительно к порезке непрерывнолитых заготовок на мерные длины по рассматриваемой (см. рис. 1, б) технологической схеме зависимость (1) примет вид:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 S_\epsilon a^2 (1 - e_\epsilon), \quad (2)$$

где a – длина боковой грани поперечного сечения заготовки квадратной формы (рис. 1, б).

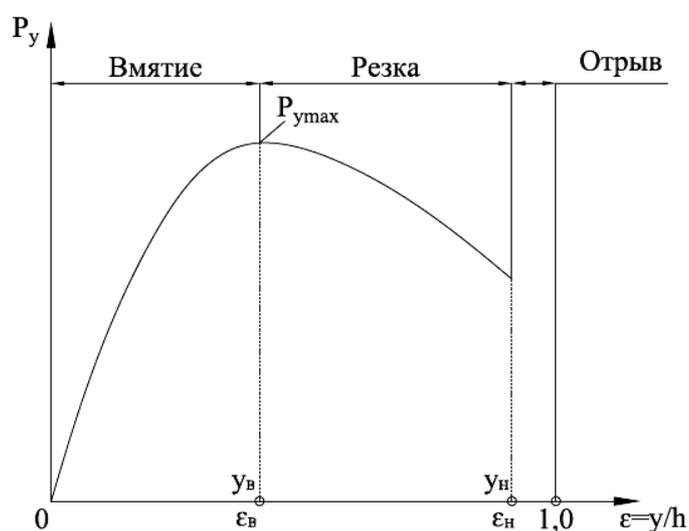


Рис. 2. Изменение усилия на ножи при резке в зависимости от глубины внедрения ножей

Вместе с этим реализация данного подхода существенно искажает геометрические и кинематические параметры очага деформации рассматриваемого процесса резки, что, в свою очередь, обуславливает снижение степени достоверности и объемов предоставляемой информации.

Целью работы является уточнение на основе численных подходов методики расчета энергосиловых параметров процесса горячей поперечной резки непрерывнолитых сортовых заготовок.

Используя численный конечно-разностный подход и учитывая симметрию очага деформации относительно вертикальной Y и горизонтальной Z осей (см. рис. 1, б), осуществим разбиение его правой части на конечное n -ое количество i -ых элементарных поперечных сечений, вертикальные границы которых параллельны оси Y , а их порядковые номера соответствуют $i = 1...n$, начиная с оси разрезаемой непрерывнолитой заготовки. С учетом данной схемы шаг геометрического разбиения ΔZ , координата средней линии и исходная толщина h_0 каждого отдельного i -го элементарного поперечного сечения Z_{ci} при его замене на прямоугольник могут быть определены как:

$$\Delta Z = a \cos(p/4)/n; \quad (3)$$

$$Z_{ci} = \Delta Z(i - 0,5); \quad (4)$$

$$h_{0i} = 2[a \cos(p/4) - Z_{ci}]. \quad (5)$$

С учетом известных количественных оценок h_{0i} толщины i -ых элементарных поперечных сечений при их переходе от вмятия к резанию $h_{\epsilon i}$ и от резания к отрыву $h_{\eta i}$ (см. рис. 2) соответствуют:

$$h_{\epsilon i} = h_{0i}(1 - e_{\epsilon}); \quad (6)$$

$$h_{\eta i} = h_{0i}(1 - e_{\eta}), \quad (7)$$

где e_{η} – коэффициент относительной глубины надреза (см. рис. 2), количественные оценки которого, как и коэффициента относительной глубины внедрения e , представлены в работах [2, 3] и других в зависимости от материалов и температур заготовок, подвергаемых резке.

По аналогии с уравнением (1) может быть определено им максимальное значение силы резки для каждого отдельного i -го элементарного поперечного сечения:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 S_{\epsilon i} \Delta Z h_{0i} (1 - e_{\epsilon}), \quad (8)$$

где $S_{\epsilon i}$ – предел прочности материала, определяемый с учетом перераспределения среднemasовых температур по диагональной ширине, то есть вдоль оси Z (см. рис. 1, б).

С целью дальнейшего решения осуществим разбиение всей протяженности процесса резки на конечное m -ое множество j -ых циклов, характеризующихся шагом перемещения ножей $\Delta y = a \cos(p/4)$ и имеющих порядковые номера $j = 1 \dots m$, начиная от исходного положения ножей и завершая окончанием процесса поперечной резки (см. рис. 1, б). При этом текущие j -ые значения толщины каждого отдельного i -го элементарного поперечного сечения соответствуют:

$$h_{pij} = h_{0i} - 2\Delta y \times j. \quad (9)$$

С учетом рекомендуемой автором работ [2, 3] параболическая аппроксимация зависимости силы резки от толщины (см. рис. 2) её текущие во времени j -ые количественные оценки для каждого i -го элементарного поперечного сечения могут быть представлены в виде уравнений следующего вида:

$$P_{ij} = P_{\max i} \sqrt{(h_{0i} - h_{pij}) / (h_{0i} - h_{\epsilon i})} \quad \text{при } h_{pij} \geq h_{\epsilon i}; \quad (10)$$

$$P_{ij} = P_{\max i} \sqrt{(h_{pij} - h_{\eta i}) / (h_{\epsilon i} - h_{\eta i})} \quad \text{при } h_{\eta i} \leq h_{pij} \leq h_{\epsilon i}; \quad (11)$$

$$P_{ij} = 0 \quad \text{при } h_{pij} \leq h_{\eta i}. \quad (12)$$

С учетом текущих значений силы P_{ij} могут быть определены и интегральные составляющие текущих значений силы процесса резки в вертикальной P_{yj} и горизонтальных P_{zj} плоскостях, а вместе с этим и суммарные энергетические затраты, необходимые для реализации исследуемой технологической схемы процесса поперечной резки A_p :

$$P_{yj} = P_{zj} = 2 \sum_{i=1}^n P_{ij}; \quad A_p = 2 \sum_{j=1}^m P_{yj} \Delta y. \quad (13)$$

В целом зависимости (3)–(13) составили полный алгоритм по автоматизированному расчету энергосиловых параметров процесса горячей поперечной резки непрерывнолитых

заготовок. В качестве примера результатов численной реализации полученной математической модели и соответствующих ей программных средств на рис. 3 представлены расчетные распределения силы резки в зависимости от хода ножей, полученные применительно к различным типоразмерам непрерывнолитых сортовых заготовок, производимых в условиях МНЛЗ Енакиевского металлургического завода.

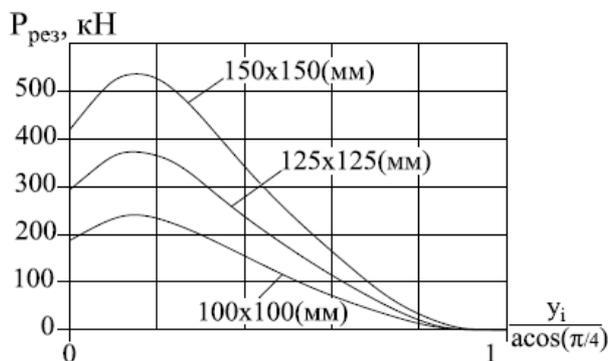


Рис. 3. Расчетные распределения силы резки непрерывнолитых заготовок в зависимости от хода ножей

Анализ полученных в этом случае результатов свидетельствует о достаточно сложном характере распределений силы резки во времени, определяемом сортаментом, химическим составом и температурой разрезаемых заготовок. При этом по отношению к традиционным методам расчета [2, 3] степень уточнения может достигать 50 % и более за счет корректного учета реальной геометрии и кинематики развития очага деформации.

ВЫВОДЫ

На основе численного подхода, заключающегося в разбиении поперечных сечений на конечное множество элементарных объемов и организации последующего решения для каждого из них, разработана математическая модель энергосиловых параметров процесса поперечной резки непрерывнолитых заготовок на их мерные длины. Показан сложный характер распределений силы резки в зависимости от хода ножей и температурно-деформационных параметров, дана количественная оценка степени уточнения общепринятых теоретических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А. Н. *Процессы непрерывной разливки: монография* / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев [и др.]. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
2. *Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3 т.: учебник для вузов.* – М.: Металлургия, 1988. – Т. 3. *Машины и агрегаты для производства и отделки проката* / А. И. Целиков, В. М. Полухин, В. М. Гребеник [и др.]. – 680 с.
3. Королев А. А. *Механическое оборудование прокатных и трубных цехов* / А. А. Королев. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.

Сатонин А. В. – д-р техн. наук, проф. кафедры АММ ДГМА;

Стриченко С. М. – вед. инженер-технолог ОАО «ЕМЗ»;

Завгородний А. В. – аспирант ДГМА;

Житлова А. А. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.
ОАО «ЕМЗ» – ОАО «Енакиевский металлургический завод», г. Енакиево.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua