

РАЗДЕЛ III ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.771.23

Руденко Е. А.
Курдюкова Л. А.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФАБРИКАЦИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ СТАНОВ

Анализ существующих представлений о фабрикации как о технологической операции, определяющей требования к процессу производства листового проката, показал, что цели и задачи фабрикации в трактовке различных авторов существенно различны.

Например, авторы [1] считают, что фабрикацией в листопрокатном производстве называют расчет массы и размеров заготовки для прокатки листового металла. Часто в общее понятие фабрикации включают также планирование прокатки, выбор оптимального химического состава стали и назначение технологического режима прокатки и отделки готового проката.

Наиболее полное определение фабрикации звучит так: «это комплекс взаимосвязанных научно-технических и организационно-экономических задач, включающих расчет основных параметров исходных заготовок и технологии производства готового проката в данном цехе, согласование рассчитанных параметров со смежными цехами, составление и выдачу графиков поступления в цех заготовок для производства и выпуска цехом готового проката, исходя из требования безусловного выполнения портфеля заказов на планируемый календарный период» [2].

Известные методики фабрикации, например [1–7], ориентированы на применение в условиях действующих станов и не предусматривают возможность оперативного расчета размеров сляба, отвечающих оптимальным режимам деформации. Последнее особенно важно при разработке технологических требований к характеристикам и расположению основного оборудования проектируемых и реконструируемых станов.

Целью настоящей работы является разработка для условий проектируемых и реконструируемых толстолистовых станов (ТЛС) математической модели и алгоритма расчета размеров слябов, отвечающих задаче производства заданного сортамента при условии обеспечения оптимальных режимов деформации черновой прокатки.

Разработанные блок – схема алгоритма и математическая модель расчета фабрикации представлены на рис. 1. Алгоритм предусматривает наличие итерационных операций и возможность работы в диалоговом режиме.

Для расчета фабрикации необходима следующая исходная информация, которая не подлежит корректировке в процессе расчета.

- Толщина, ширина и длина готовых листов.
- Допуск на толщину, ширину и длину готового листа (по ГОСТ 19903-90).
- Припуск на ширину раската конечной толщины.

Величина припуска на ширину для ТЛС, оснащенных современными средствами управления размерами и формой раската, определяется двумя факторами, один из которых диктует значения боковой обрезки в зависимости от технологической возможности методов и систем обрезки боковых кромок раската, а второй – в зависимости степени пораженности прикромковых зон раската поверхностными дефектами.

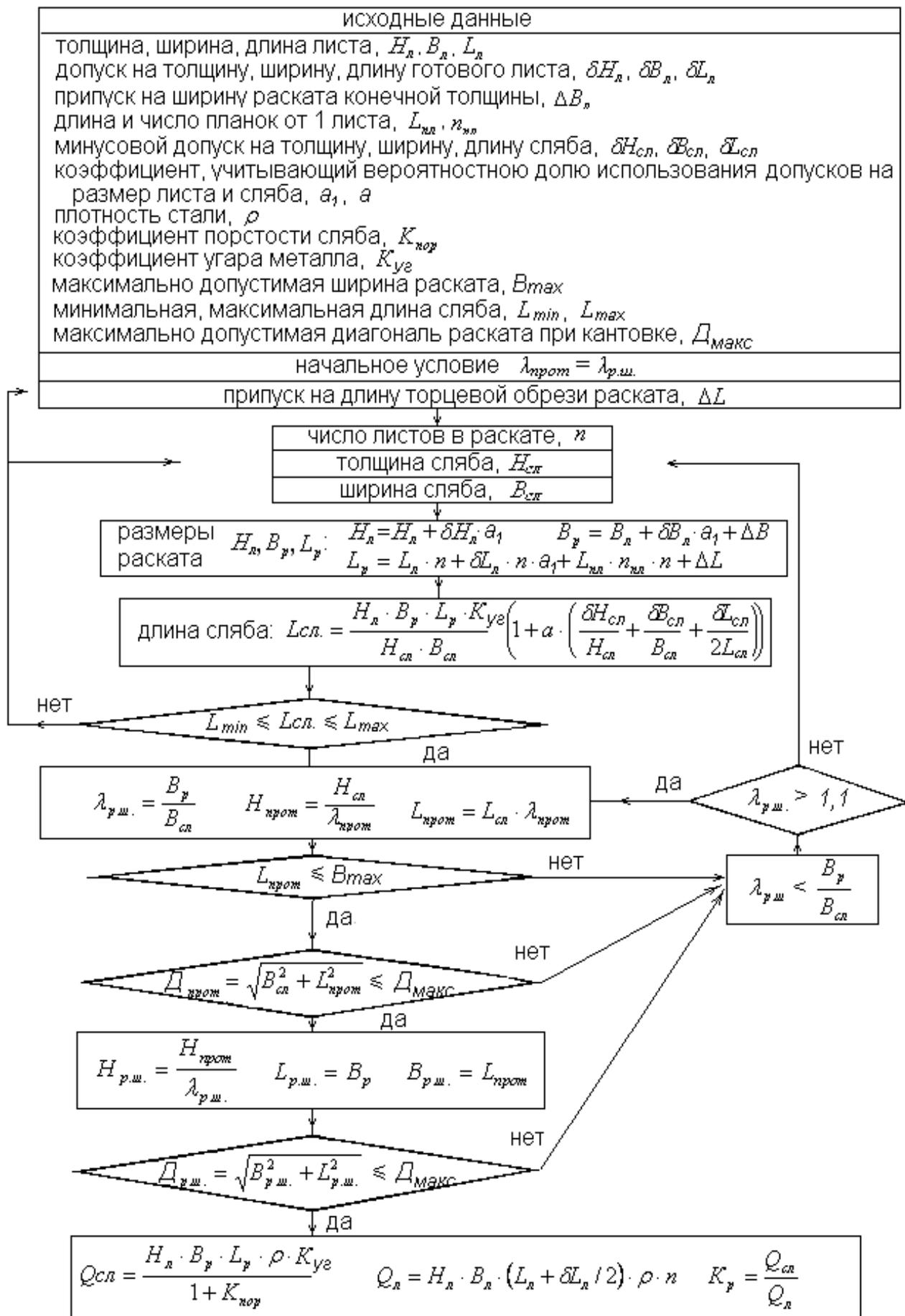


Рис. 1. Блок-схема алгоритма и математическая модель расчета фабрикации

Для условий проектируемых производств, когда технология предшествующего передела, позволяет получать непрерывнолитые слябы с качеством поверхности, исключаящим необходимость планирования дополнительной обрезки для удаления дефектов поверхности, величину припуска на ширину раската следует принимать равной минимальной величине, допускаемой кромкообрезными ножницами или машинами огневой резки. При применении двоянных кромкообрезных ножниц в качестве нормативной величины боковой обрезки можно рекомендовать 50, 60, 70 и 90 мм соответственно для листов толщиной 5–20, 20–30, 30–40 и 40–50 мм.

При отсутствии гарантий на качество прикромковых зон слябов, припуск на боковую обрезку определяется в соответствии с рекомендациями Ю. В. Фурмана [7]:

$$\Delta B_{\text{л}} = 130 + 0,067 \cdot (B_{\text{л}} - 2000), \text{ для слябов толщиной } \leq 250 \text{ мм};$$

$$\Delta B_{\text{л}} = 150 + 0,058 \cdot (B_{\text{л}} - 2000), \text{ для слябов толщиной } > 250 \text{ и } \leq 300 \text{ мм}.$$

Для листов шириной < 2000 мм припуски принимают соответственно равными 130 и 150 мм.

Длина (размер по направлению прокатки) и число планок ($L_{\text{пл}}$), отбираемых от одного листа для механических испытаний. Определяются НТД и для листов толщиной 4–50 мм находится в диапазоне от 70 до 200 мм. Для условий проектируемых и реконструируемых станков $L_{\text{пл}}$ рекомендуется принимать равной 200 мм.

Минусовые допуски на толщину, ширину, длину литых слябов рекомендуется принимать 3мм, 5мм на метр ширины, 10мм, что отвечает возможностям современных МНЛЗ.

Коэффициент, учитывающий вероятную долю использования допусков на размеры готового листа и сляба следует принимать равным 0,4–0,7.

Плотность стали – плотность катаной стали при комнатной температуре.

Плотность литых слябов рассчитывается как произведение плотности катаного сляба на коэффициент пористости литого сляба $K_{\text{пор}} = 0,001–0,005$.

Коэффициент угара, потери металла с окалиной при нагреве слябов и в процессе прокатки. Рекомендуемый диапазон значений коэффициента угара 1,01–1,03.

Максимальная допустимая ширина раската при прокатке $B_{\text{max}} = (L_{\text{б}} - 150)$, мм; где $L_{\text{б}}$ – длина бочки рабочего вала.

Допустимая минимальная длина слябов определяются типом и конструкцией нагревательных печей. Для печей толкательных $L_{\text{min}} \geq 900$ мм, для печей с шагающими балками $L_{\text{min}} \geq 1900$ мм. Максимальная длина сляба соответствует максимально допустимой ширине раската при прокатке $L_{\text{max}} = B_{\text{max}}$.

Максимально допустимая диагональ раската при кантовке $D_{\text{макс}}$ при проектировании стана может быть, как ограничена уже принятым оборудованием, так и приниматься по результатам расчета фабрикации.

К исходной информации, подлежащей корректировке в процессе расчета, относятся:

- толщина, ширина и длина сляба;
- число листов в раскате;
- припуск на длину торцевой обрезки раската конечной толщины. В условиях, когда системы управления формой раскатов в плане отсутствуют, при назначении припусков на длину раската можно ориентироваться на результаты расчета по предложенной Ю. В. Фурманом [7]:

$$\Delta L = \frac{116 \cdot H_{\text{сл}} \cdot B_{\text{сл}}^2}{H_{\text{л}} \cdot (B_{\text{л}} + 150)^2} - 112.$$

Если расчетное значение $\Delta L < 600$, то припуск на длину следует принимать 600 мм.

В том случае, когда оборудование стана предусматривает возможность управления формой раската в плане [8], следует ориентироваться на значения припусков на длину торцевой обрезки приведенных в табл. 1.

Условие расчета вытяжки при протяжке. На первом шаге расчета принято условие равенства вытяжек при протяжке и разбивке ширины, как максимально отвечающее задаче

достижения высоких показателей качества. Если при этом условие ($L_{прот} \leq V_{max}$) не выполняется, то начинается итерационный процесс уменьшения полученного расчетного значения вытяжки при протяжке до момента выполнения условия, указанного выше, но не менее чем до значения вытяжки равной 1,1–1,12. Эти значения вытяжки отвечают минимальному допустимому обжатию в первом черновом проходе по условию формирования благоприятной структуры готового проката [9].

Таблица 1

Рекомендуемые ориентиры длин торцевой обреза

Ширина листа, мм	Толщина листа, мм				
	5,0–10,0	10,1–12,0	12,1–25,0	25,1–40	≥ 40
1500–1800	800	800	700	600	500
1801–2500	700	700	600	500	300–400
> 2500	600	500	500	400	200–300

Представленные алгоритм и математическая модель расчета фабрикации включены в программный пакет «ТОЛСТЯК_В», разработанный специалистами ЗАО «Спецметалл-пром» и НПО «ДОНИКС», предназначенный для расчета фабрикации слябов, температурных, энергосиловых условий прокатки, требований к параметрам двигателей главного привода, режимов работы систем охлаждения раскатов, производительности и циклограмм работы ТЛС в функции заданного режима обжатий, требуемой температуры нагрева слябов, температуры начала и конца чистой прокатки, температуры начала и конца охлаждения [10].

Программный пакет «ТОЛСТЯК_В» использован при разработке технологических заданий на реконструкцию ТЛС 2300 Донецкого металлургического завода (Украина) и на проектирование нового ТЛС 2850 Ашинского металлургического завода (Россия).

Практические возможности предложенных алгоритма и математической модели иллюстрируют результаты расчета фабрикации для ТЛС 2850 АМЗ, полученные в процессе разработки ТЛЗ, при следующих исходных данных:

- размерный сортамент листов: толщина 5–70 мм; ширина 1,5–2,5 м; длина 6–12 м.
- сляб литой: толщина 240 мм; ширина 1600 мм (постоянны для всего сортамента).

Размерный расчетный сортамент:

по толщине:

Заданный диапазон толщин, мм	5 – 11	12 – 14	15 – 22	23 – 30	31 – 50	51 – 70
Толщина расчетная, мм	7	12	17	25	40	60

по ширине листов:

Заданный диапазон ширин, мм	1500 – 2500		
Расчетный диапазон ширин, мм	1500 – 1800	1801 – 2200	2201 – 2500
Ширина расчетная, мм	1500	2000	2350

Фабрикация рассчитана с учетом ограничений, накладываемых реальными технологическими приоритетами и прогнозируемыми возможностями оборудования. К числу основных технологических приоритетов относятся:

- повышение кратности раската (увеличение числа листов, получаемых из раската);
- повышение коэффициента использования пода печи;
- повышение разовых обжатий на начальной стадии прокатки;
- соблюдение рационального соотношения между вытяжкой при протяжке и вытяжкой при разбивке ширины;
- возможная минимизация числа размеров слябов по их длине.

Решение задач фабрикации существенно усложняется требованием Заказчика о постоянстве толщины и ширины слябов для всего размерного сортамента стана.

Задача решена разработкой новой структуры технологического потока на участке стана от загрузки до рабочей клетки, которая включает кантовку слябов в горизонтальной

плоскости перед их загрузкой в методические печи так, чтобы их продольная ось (относительно движения металла в МНЛЗ) стала параллельна продольной оси нагревательных печей. Это создало условие, когда под многорядной печи равномерно загружен слябами одинакового размера, параллельного ширине печи и равного 1600 мм, что существенно повысит коэффициент использования ее пода.

Базовые требования к размерам слябов (для некоторых позиций расчетного сортамента), отвечающие условиям производства полос расчетного сортамента с учетом технологических приоритетов и ограничений, даны в табл. 2.

Таблица 2

Некоторые результаты расчета фабрикации по условию минимума расходного коэффициента и с учетом допустимого снижения числа нормированных длин слябов¹⁾

Раскат конечной толщины, мм	Толщина	5	7	12	17	25	40	60
	Ширина после обрезки	2000	2000	2350	2000	2000	1800	2000
	Ширина до обрезки	2032	2032	2392	2042	2052	1862	2062
	Длина до обрезки	49600	49600	31325	25810	17500	10425	6705
	Длина годного	48000	48000	30000	24000	16000	9000	6000
Число листов в раскате		8	8	5	4	2	1	1
Сляб**	Ширина, мм	1600						
	Длина, мм	1350	1885	2400	2400	2400	2080	2220
	Масса, т	4,054	5,660	7,208	7,208	7,208	6,246	6,667
Расходный коэффициент		1,072	1,069	1,081	1,121	1,144	1,224	1,175
Базовые характеристики раската при черновой прокатке	Толщина после протяжки	188,98	200,00	216,22	216,22	214,29	206,23	203,39
	Толщина после РШ*	148,80	157,48	144,63	169,42	167,08	177,21	157,82
	Вытяжка при протяжке	1,270	1,200	1,110	1,14	1,120	1,164	1,180
	Вытяжка при РШ*	1,270	1,270	1,495	1,276	1,283	1,164	1,289
	Длина после протяжки	1715	2262	2664	2664	2688	2420	2620
	Дмакс. при кантовке, мм	2659	3041	3581	3356	3382	3054	3334
¹⁾ Размеры даны в холодном состоянии; * РШ – разбивка ширины; **Размеры слябов даны относительно направления их движения на выходе из МНЛЗ								

Фабрикация размеров слябов без учета ограничений на число их размеров снижает удельные потери металла на 5–40 кг/т, однако повышает в сопоставимых условиях число необходимых размеров слябов примерно с 9 до 30.

Оба варианта фабрикации обеспечивают максимальные значения длины годного в раскатах конечной толщины (рис. 2).

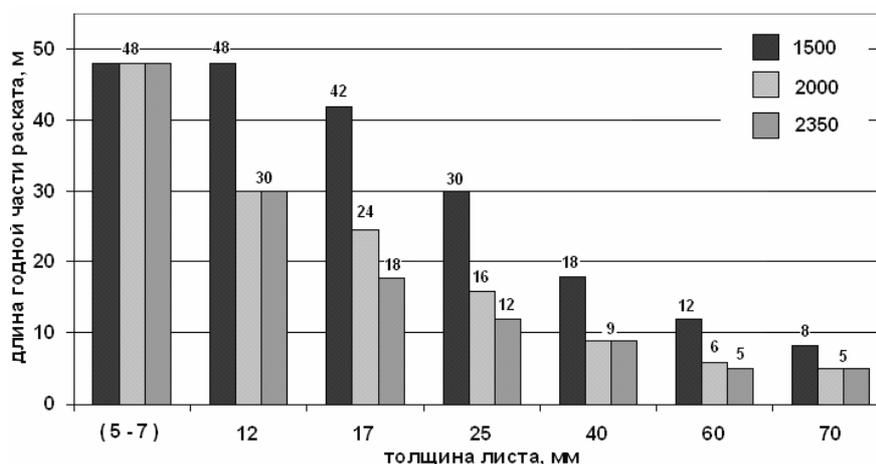


Рис. 2. Длина годного в раскатах конечной толщины

Анализ результатов фабрикации позволил сформулировать следующие технологические требования, которые необходимо учитывать при проектировании:

- для производства листов заданного размерного сортамента ТЛС должен обеспечиваться слябами размером $240 \times 1600 \times 1000\text{--}2570$ мм и массой 3,0–7,8 т, для условий многорядного посада;
- загрузочный рольганг должен быть оборудован устройством для кантовки слябов в горизонтальной плоскости;
- длина бочки роликов приемного (подпечного) рольганга должна быть равна длине бочки роликов раскатных рольгангов;
- длина раскатных рольгангов должна обеспечивать возможность приема и транспортировки раскатов длиной до 51 м;
- рабочая клеть с обеих сторон должна быть оборудована устройствами для кантовки (разворота) раскатов с диагональю до 3900 мм;
- манипуляторные линейки должны обеспечивать работу раскатов шириной 900–2900 мм.

ВЫВОДЫ

Предложенный алгоритм и математическая модель расчета фабрикации отвечает требованиям современного толстолистного производства и решает основные задачи фабрикации, такие как: определение размеров слябов и коэффициента фабрикации с учетом технологических режимов прокатки, разброса размеров заготовок, ограничений, накладываемых оборудованием стана. Предложенный алгоритм и математическая модель расчета фабрикации предназначены для проектируемых и реконструируемых толстолистных станков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковынев М. В. Производство листового металла / М. В. Ковынев, В. В. Миллер. – М. : Металлургия, 1976. – 224 с.
2. Савранский К. Н. Пути экономии металла при производстве толстых листов / К. Н. Савранский, Э. А. Гарбер, В. Г. Ламинцев. – М. : Металлургия, 1983. – 120 с.
3. Бельгольский Б. П. Экономия металла в прокатном производстве / Б. П. Бельгольский, В. Т. Фадеев. – М. : Металлургия, 1972. – 266 с.
4. Расчет массы слябов для прокатки толстых листов / К. Н. Савранский, А. А. Горчарский, Э. А. Гарбер, В. Г. Надутов, И. Н. Воробьева // Производство толстолистовой стали : темат. сб. – 1981. – № 5. – С. 47–54.
5. Методика расчета рациональной массы слябов для прокатки толстых листов в минусовом поле допусков / К. Н. Савранский, А. А. Горчарский, Э. А. Гарбер, В. Г. Надутов, В. Г. Носов, В. Г. Ламинцев // Производство толстолистовой стали : темат. сб. – 1979. – № 4. – С. 60–67.
6. Пути экономии металла при производстве толстого листа / К. Н. Савранский, Э. А. Гарбер, Л. И. Бутылкина, В. В. Кузькин, В. Г. Надутов, Ю. П. Комиссаров // Производство толстолистовой стали: темат. сб. – 1979. – № 3. – С. 84–86.
7. Булянда А. А. Рациональная технология производства горячекатаных листов и полос / А. А. Булянда, В. Г. Носов, Э. Е. Бейгельзимер, А. Л. Остапенко, Ю. В. Фурман, Н. Н. Шкурко. – К. : Техника, 1993. – С. 101–113.
8. Коновалов Ю. В. Настоящее и будущее агрегатов для производства горячекатаных листов и полос / Ю. В. Коновалов, Е. А. Руденко // Производство проката, 2008. – С. 15–20.
9. Расширение возможности использования термомеханической обработки толстого листа / А. Штрайфельбергер, Ф. Ганус, В. Шютц, Р. Хубо // Черные металлы. – 1997. – № 9 – С. 31–41.
10. Проектирование технологии горячей прокатки листов и полос / А. Л. Остапенко, Э. Е. Бейгельзимер, Н. В. Миненко, А. В. Кузьмин, Ю. В. Коновалов, Е. А. Руденко // Металл и литье Украины. – 2006. – № 7–8. – С. 56–60.

Руденко Е. А. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ;
Курдюкова Л. А. – аспирант ДонНТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: zabiralina@ukr.net