

ЛУБЕНЕЦ А.Н. (ЗАО «ВИЗАВИ»), СМИРНОВ Е.Н. (ДОНГТУ), ЩЕРБАЧЕВ В.В. (ОАО «КМЗ ИМ. В. КУЙБЫШЕВА»), НЕСВЕТ В.В. (ОАО «ДМЗ ИМ. Ф. ДЗЕРЖИНСКОГО»)

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ БЛЮМОВ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ*

Изложены результаты исследования качества непрерывнолитых блюмов сечения (335×400 мм) из низкоуглеродистой (0,08–0,16% С) стали, применяемых для последующего производства сортовой передельной заготовки ответственного назначения.

В результате исследований показано, что для получения требуемого качества готового проката ответственного назначения, и в частности, полособульбовых профилей для судостроения, необходимо более пристальное внимание к формирующемуся в процессе непрерывной разливки структурному состоянию блюма и изменяющимся по сечению свойствам металла.

Появившиеся в последнее время данные, касающиеся вопросов производства сортового проката большого поперечного сечения из непрерывнолитых блюмов [1], свидетельствуют о том, что при недостаточном внимании к формирующемуся в процессе непрерывной разливки структурному состоянию блюма и изменяющимися свойствами металла, получение требуемого качества готового проката, а особенно ответственного назначения, представляется весьма проблемным. В свою очередь, задача, связанная с прогнозированием качества готовой продукции, становится практически неразрешимой.

В тоже время, при производстве из непрерывнолитого слитка (блюм или заготовка) целой гаммы сортовых фасонных профилей ответственного назначения на основе легированных марок стали к последним предъявляются повышенные требования в части обеспечения однородности макроструктуры и механических свойств готового проката. Именно повышенные требования в совокупности с большим разнообразием форм конечного сечения готовой продукции, привели к тому, что основным показателем, гарантирующим получение требуемого качества продукции, стала суммарная степень деформации непрерывнолитого слитка. Так, по данным работ [2, 3], начиная со степени обжатия 2,7 механические свойства металла удовлетворяют требованиям ГОСТа.

Известно, что увеличение этого параметра способствует стабилизации и выравниванию свойств по сечению проката. В процессе прокатки происходит уплотнение осевой зоны, однако, начиная со степени обжатия 2,7–3,5, центральная пористость не изменяется. Подусадочная ликвация практически не меняется до степени обжатия 4,75–5. Дальнейшая же деформация несколько (на 0,5 балла) снижает этот показатель.

Все вышеизложенные обстоятельства легли в основу единого подхода к решению данной проблемы, реализуемого ведущими мировыми производителями сортового фасонного проката специального назначения. Суть данного подхода заключается в создании на базе мощных высокоэффективных металлургических комплексов производства заготовок крупного сечения с использованием многоручьевых блюмовых МНЛЗ (табл. 1). Как следует из анализа данных табл. 1 характерной особенностью таких производств является использование плавильных агрегатов большой единичной мощности, а также отливка непрерывнолитых блюмов достаточно большого поперечного сечения. При этом фактически для всего сортамента сортовой фасонной металлопродукции от-

* Работа выполнена под руководством проф., д.т.н. Минаева А.А.

ответственного назначения гарантируется выполнение требований по регламентации минимальной величины суммарной деформации непрерывнолитого блюма.

Табл. 1 — Основные данные для многоручьевых блюмовых МНЛЗ с крупным сечением заготовки, применяемых в цехах с большой единичной емкостью плавильных агрегатов

№ п/п	Наименование заводы и страна	Оборудование для внепечной обработки	Год пуска или реконструкции МНЛЗ	Емкость конвертера, т	Число ручьев МНЛЗ	Сечение заготовки
1	NIPPON STEEL CORP., MURORAN WORKS 3 (Япония)	VD	1981	270	4	350×560
2	SUMITOMO METAL IND. LTD., WAKAYAMA STEEL WORKS 3 (Япония)	VD	1979	160	4	410×530/ 600×670 DIA 410–450
3	NKK CORPORATION, KEIHIN WORKS (Япония)	VD	1979	300	4	400×520/ 400×600
4	KOBE STEEL LTD., KAKOGAWA WORKS (Япония)	VD	1981	240	4	380×650
5	UNUMETAL GANDRANGE (Франция)	LF/VD	1984	150 (ДСП)	6	225×320/ 360×480
6	SAARSTAL AG (Германия)	VD	1980	165	6	240×240/ 240×420
7	THYSSEN STAHL AG, RUHRORT WORKS (Германия)	LF/VD	1975 1993	140	6	265×385
8	USS/KOBE STEEL CO., LORAIN WORKS (США)	LF	1983 1994	205	5	310×330/ 320×360
9	INLAND STEEL, INDIANA HARBOR WORKS, (США)	LF/VD	1986	200	4	(380–508)×610
10	BHP STEEL, NEWCASTLE WORKS (Австралия)	LF	1987	200	4	400×630
11	TRINECKE ZELEZARNY (Чехия)	LF/VD	1989	180	5	250×320/ 300×350
12	HUTA KATOWICE, DABROWA GORNICZA (Польша)	LF/VD	1995	330	6	280×300/ 280×400
13	ОРСКО-ХАЛИЛОВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ «НОСТА» (Россия)	LF	1985	100 ДСП	4	300×450
14	ОСКОЛЬСКИЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ (Россия)	LF/DH	1985	150 ДСП	4	300×360
15	ДНЕПРОВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ (Украина)	УДМ	1994	250	6	335×400

Обозначения: LF — установка «печь-ковш»; VD — вакуумирование в камере; DH — порционное вакуумирование; УДМ — установка доводки металла в ковше; ДСП — электродуговая печь

В большинстве исследований, связанных с производством крупных непрерывнолитых заготовок на блюмовых МНЛЗ, основное внимание уделяется более полному учету условий непрерывной разливки и охлаждения до и после затвердевания. При этом считается, что механизм кристаллизации таких блюмов хорошо изучен. Согласно полученным результатам, затвердеванием по оси непрерывнолитых заготовок управляет процесс периодического образования пустот, рыхлости и перемычек (мостов) по принципу мини-слиток. Причем вынужденные отклонения от стационарности непре-

рывной разливки оказывают решающее влияние на образование усадочной раковины. Колебания параметров процесса разливки могут вызвать макроскопическое опережение или отставание фронта кристаллизации, а удельный объем пустот в центре заготовки имеет большие статистические колебания. Средние значения этого показателя изменяются от $3 \text{ см}^3/\text{м}$ у нелегированных сталей до $24,1 \text{ см}^3/\text{м}$ у подшипниковых. При отклонениях от стационарных условий разливки с слитке могут образовываться единичные полости (пустоты) до $45 \text{ см}^3/\text{м}$ [4].

Образование осевых дефектов и микроликвация могут быть уменьшены, если сокращение объема, вызванное различием плотности жидкой и твердой фаз будет компенсировано небольшим обжатием слитка при окончательном затвердевании в процессе разливки [5]. В ряде случаев при этом велика вероятность образования дефектов поверхности (раковин, шлаковых включений, плен и др.), а в процессе затвердевания и охлаждения слитков возможно образование сетчатых, продольных и поперечных трещин разной глубины и протяженности.

В связи с этим актуальными задачами являются:

— экспериментальное определение оптимальных сечений литой заготовки, которая обеспечивает получение конкурентоспособного проката в соответствии с общепринятыми международными стандартами;

— комплексная оценка качества непрерывнолитых блюмов большого сечения из судостроительных марок стали в условиях существующих металлургических предприятий Украины.

В металлургическом комплексе бывшего СССР Украина фактически являлась монополистом в производстве полосульбовых профилей (ГОСТ 21937-76, ГОСТ 9235-76), широко используемых в судостроении. Анализ существующего сортаментного ряда крупносортовых полосульбовых профилей (от № 16а до № 24б по ГОСТ 21937-76 и от № 1646 до № 30812 по ГОСТ 9235-76) в свете требований со стороны ведущих мировых регистров судоходства к производству проката из непрерывнолитого металла [6–8], а также с позиции необходимой для получения требуемого качества суммарной степени деформации непрерывнолитой заготовки приведен в табл. 2. Представленные данные однозначно свидетельствуют о том, что чем выше предъявляемые требования к качеству готовой продукции, тем больше должна быть толщина исходной непрерывнолитой заготовки (колонки 8, 9, 10). Регламентация же высоты непрерывнолитой заготовки с позиции удовлетворения механических свойств металла требованиям ГОСТа (колонка 9) дает явно заниженные результаты, и по всей видимости, не приемлема в случае выбора высоты исходной заготовки для производства проката специального назначения. Следует особо подчеркнуть, что выбор высоты заготовки с позиции регламентации суммарной вытяжки [3] в случае производства профилей сложной конфигурации может также давать заниженные результаты, так как не учитывает фактическую высоту отдельных элементов профиля (в рассматриваемом случае прокатка симметричных полосульбовых профилей).

Наиболее обоснованная величина высоты непрерывнолитой заготовки получается в случае регламентации относительного уменьшения толщины блюма к толщине готовой продукции, так как учитывает особенности конструкции профиля [6, 7]. Похожие результаты будут получаться и в случае расчетов высоты непрерывнолитой заготовки с точки зрения изменения подусадочной ликвации [2] и получения равномерной макроструктуры (инструкция № QS AA NWO2 Germanischer Lloyd) [8].

В контексте всего вышеназванного единственно возможным в Украине объектом исследования может стать продукция, полученная в условиях ККЦ ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф. Дзержинского». Наличие в цехе современной комбинированной МНЛЗ, предназначенной для одновременной разливки стали в блюмы сечением $335 \times 400 \text{ мм}$ (4 ручья) и заготовку для переката сечением $160 \times 160 \text{ мм}$ (2 ручья) позволяет наиболее корректно реализовать эксперимент по оценке качества как

Табл. 2 — Результаты анализа сортамента крупносортных полосообразных профилей с точки зрения требуемой минимальной высоты непрерывнолитой заготовки

№ п/п	Нормативный документ	Номер профиля	Размеры профиля			Минимальная высота исходной непрерывнолитой заготовки в соответствии с требованиями, мм **		Данные работы [2] 1/η, 2,7	Данные работы [3] μ, 10	
			Ширина профиля, мм	Высота профиля, мм	Толщина пологна профиля, мм	Lloyd Register $h_c/h_m=1:4$	Det Norske Veritas $h_c/h_m=1:5$			
1	ГОСТ 21937-76	3	4	5	6	7	8	9	10	
1			16 а	160	36	8,0	144	180	97,2	120
2			16 б	160	38	10,0	152	190	102,6	141
3			18 а	180	40	9,0	160	200	108,0	148
4			18 б	180	42	11,0	168	210	113,4	173
5			20 а	200	44	10,0	176	220	118,8	161
6			20 б	200	46	12,0	184	230	124,0	185
7			22 а	220	48	11,0	192	240	130,0	193
8			22 б	220	50	13,0	200	250	135,0	219
9			24 а	240	52	9,0	208	260	140,4	228
10			24 б	240	54	14,0	216	270	145,8	256
11			16 а 6	160	48,5	6,5	194	243	131,0	110
12			1658	160	50,0	8,0	200	250	135,0	126
13			1858	180	56,5	8,5	226	283	153,0	143
14			2068	200	60,4	8,4	242	302	163,1	153
15			22610	220	68,0	10,0	272	340	183,6	195
16			271010	270	102	10,0	408	510	275,4	167
17			30810	300	89	10,0	356	445	240,3	190
18	30812	300	91	12,0	364	455	245,7	211		

** — Getmanischer Lloyd — регламентируется получение макроструктуры QS AA NW02; Регистр судоходства России — не регламентируется.

непрерывнолитых блюмов большого сечения, так и заготовки для переката близких сечений, полученных по различным технологическим схемам, в том числе и в результате перекалки блюмов.

Выплавку опытно-промышленных партий стали осуществляли в 250-тонном конвертере комбината в соответствии с действующими технологическими инструкциями на выплавку, доводку и непрерывную разливку. На первом этапе ограничились одной маркой низколегированной стали по ГОСТ 5521-93. При этом использовали металл двух плавов, отлитых в серию и отличающихся друг от друга по химическому составу (табл. 3).

Табл. 3 — Химический состав опытно-промышленных партий стали категории А32 (ГОСТ 5521-93)

N/N	Содержание химических элементов, % *				
	C	Mn	Si	S	P
1	0,15	1,30	0,30	0,023	0,028
2	0,12	1,30	0,33	0,020	0,012

* — Указанный химический состав соответствует ковшевой пробе

С целью более полного последующего учета влияния формирующихся в процессе непрерывной разливки структурного состояния блюма и изменяющихся по его сечению свойств металла на уровень служебных свойств полособульбовых профилей выполнили комплексную оценку их качества. Для этого от полученных блюмов отбирали по 2 образца — одна для контроля макро- и микроструктуры, а другая — для механических испытаний. При этом, пробы от блюма отбирались поперек направления прокатки. Пробы получали огневой вырезкой с соблюдением требований ГОСТа 7564-73.

Исследование особенностей макроструктуры непрерывнолитого блюма 335×400 мм производили в соответствии с ОСТ 14-1-235-91.

Установлено, что блюмы характеризуются более равномерным химическим составом, меньшим (по сравнению со слитком) количеством усадочных и ликвационных дефектов. В частности, в результате исследования макроструктуры на поперечном (I) и трех продольных (II) темплетях, вырезанных в различных точках по сечению блюма (рис. 1) установлено, что осевая пористость имеет вид рыхлости 2–4 балла (рис. 2). Показателем 2–3 балла характеризуются ликвационные полосы и трещины. Осевая ликвация выражена в незначительной степени: балл 0–1. Газовые пузыри имеют глубину залегания 5–30 мм в зависимости от грани блюма. Так, толщина корковой зоны примерно одинаковая по всему периметру и колеблется в пределах 15–22 мм, размер зоны вытянутых дендритов не превышает 90 мм.

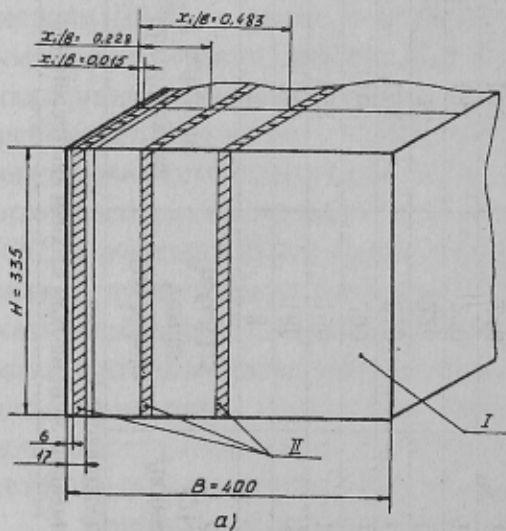


Рис. 1. Схема вырезки поперечных (I) и продольных (II) темплетов для исследования макро- и микроструктуры

В результате оценки микроструктуры непрерывнолитого блюма установлено, что все раскаты имеют феррито-перлитную структуру (рис. 3). Величина зерна соответствует 4–6 баллам. В отдельных случаях имеются зерна 3 балла в структуре центральной зоне профиля, как по широкой, так и по узкой граням блюмов. Кроме того, отмечается тенденция укрупнения зерна от поверхности к центру сечения. Видманштеттова структура в этих образцах находится на уровне 0,5–1,5 балла.

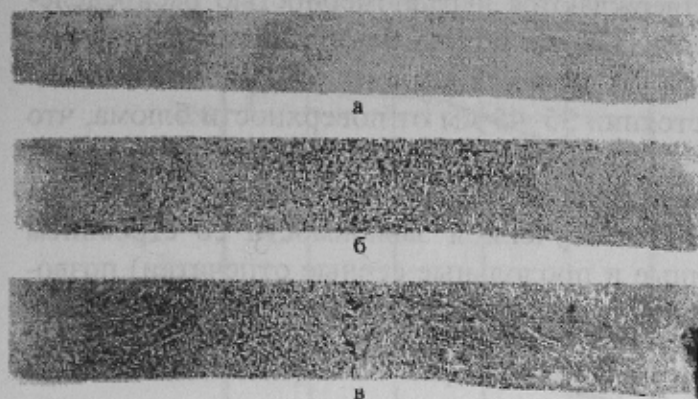


Рис. 2. Макроструктура (серый отпечаток) продольных темплетов непрерывнолитого блюма сечением 335×400 мм, ×0,73: а — $x_i/B = 0,015$; б — $x_i/B = 0,265$; в — $x_i/B = 0,510$

В результате испытаний установлено, что прочностные свойства (σ_B и σ_T рис. 4, а) имеют тенденцию к снижению по направлению к центру блюма. Наивысшими прочностными свойствами обладают поверхностные слои металла, для которых характерным является значение предела прочности σ_B на уровне $\sigma_{B \max} = 470$ МПа, а предела текучести σ_T на уровне $\sigma_T \approx 315$ МПа. Для центральных слоев металла σ_B и σ_T принимают следующие значения: $\sigma_B \approx 420$ МПа, $\sigma_B \approx 285$ МПа. При этом, относительная величина колебаний прочностных свойств составила 6,4–10,5%.

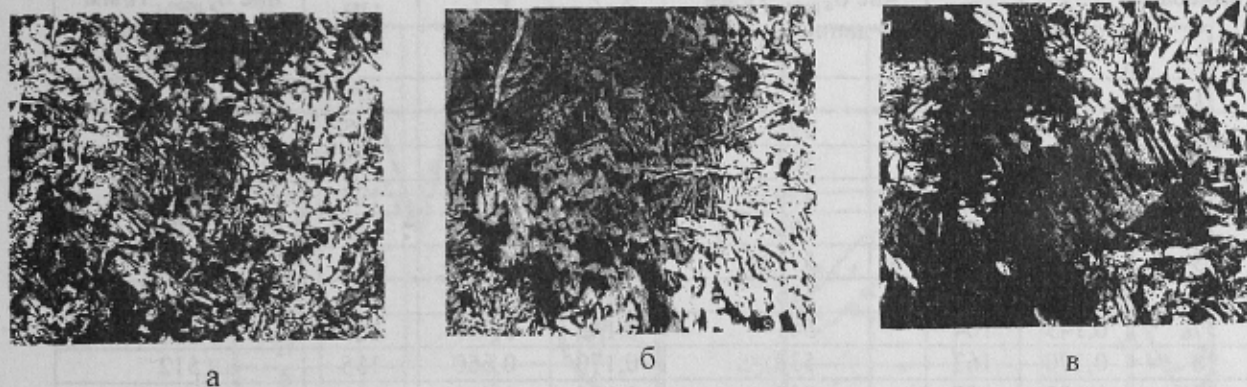


Рис. 3. Микроструктура непрерывнолитого блюма стали А 32 (D32), ×50: а — $x_i/B = 0,015 \pm 0,043$; б — $x_i/B = 0,228 \pm 0,256$; в — $x_i/B = 0,483 \pm 0,511$

Крайне неравномерный характер выявлен в ходе исследования пластических свойств (рис. 4 б, г). Так, в зонах непрерывнолитого блюма, примыкающих к поверхности, они выше, чем в середине: относительное удлинение σ_5 в 3–4 раза, работа удара (на образцах с V образным надрезом) — в 2–3 раза. Это объясняется особенностями структуры литого металла в различных зонах блюма и хорошо коррелирует с результатами исследований, выполненными на рельсовой стали [9].

Оставшиеся после изучения макроструктуры темплеты были разрезаны на пластины толщиной 11 мм с шагом 6 мм в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Полученные образцы позволили выполнить комплекс исследований по изучению динамики изменения плотности стали в различных зонах кристаллизации непрерывнолитого блюма (рис. 4, в) и твердости НВ. Результаты замера твердости НВ представлены в табл. 4.

Особенностью микроструктуры может служить тот факт, что ферритное зерно в основном формирует дендритный скелет. Перлитные колонии расположены в междендритных участках. Такое расположение составляющих позволяет предположить, что металл будет обладать хорошими вязкими свойствами. Это особенно важно для изделий испытывающих многоциклические динамические и тепловые нагрузки.

Для количественной оценки уровня отдельных характеристик полученных блюмов провели серию механических испытаний на образцах, отобранных в различных точках по сечению блюма (рис. 4).

Полученные результаты также подтверждаются неравномерностью распределения свойств по сечению раската. В ходе проведенных исследований по оценке плотности стали было установлено, что максимальные значения данного показателя наблюдались в образцах, располагающихся на расстоянии 35–45 мм от поверхности блюма, что соответствует выводам работы [4]. Графическая интерпретация данных табл. 3 (рис. 4, д) показывает, что на кривой изменения твердости НВ по сечению блюма имеется два максимума и три минимума. Сопоставление полученной зависимости со строением структурных зон литого металла (поперечные и продольные серные отпечатки) позволило установить, что первый минимум расположен на внутренней границе корковой зоны мелкокристаллических дендритов ($x_i/B \approx 0,058$), второй — в средней части зоны столбчатых кристаллов ($x_i/B \approx 0,228$), а третий — на внешней границе зоны разориентированных кристаллов ($x_i/B \approx 0,38 - 0,42$). Максимальные значения твердости НВ были выявлены в областях металла прилегающих к внешней границе зоны столбчатых кристаллов ($x_i/B \approx 0,285 - 0,30$) для которых характерно появление отдельных разориентированных дендритов. Следует отметить, что кривые изменения плотности стали ρ и твердости НВ хорошо коррелируют между собой.

Табл. 4 — Динамика изменения твердости НВ и расчетной величины предела прочности $\sigma_{в\text{расч.}}$ по сечению непрерывнолитого блюма 335×400 мм из стали А32

Номер замера	Направление замера — осевое, параллельно широкой грани			Направление замера — диагональное			
	x_i/B	НВ	Расчетное значение $\sigma_{в\text{расч.}}$, Н/мм ² по данным работы [2]	x_i/B	y_i/H	НВ	Расчетное значение $\sigma_{в\text{расч.}}$, Н/мм ² по данным работы [12]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,015	149	492	0,015	0,970	145	479
2	0,043	153	505	0,043	0,915	145	479
3	0,058	133	439	0,058	0,885	127	419
4	0,085	153	505	0,085	0,830	145	479
5	0,100	173	571	0,100	0,800	157	518
6	0,128	156	515	0,128	0,745	154	508
7	0,143	164	541	0,143	0,715	167	551
8	0,170	163	538	0,170	0,660	155	512
9	0,185	157	518	0,185	0,630	150	495
10	0,213	150	495	0,213	0,5	148	488
11	0,228	145	479	0,228	0,545	146	482
12	0,255	157	518	0,255	0,490	158	521
13	0,270	148	488	0,270	0,460	163	538
14	0,298	169	558	0,298	0,405	163	538
15	0,313	165	545	0,313	0,375	166	548
16	0,340	160	528	0,340	0,320	155	512
17	0,355	159	525	0,355	0,290	149	492
18	0,383	162	535	0,383	0,235	149	492
19	0,398	131	432	0,398	0,205	140	462
20	0,425	130	429	0,425	0,150	137	452
21	0,440	127	419	0,440	0,120	131	452
22	0,468	144	475	0,468	0,065	142	469
23	0,483	139	459	0,483	0,035	139	459
24	0,510	142	469	0,510	0,000	142	469

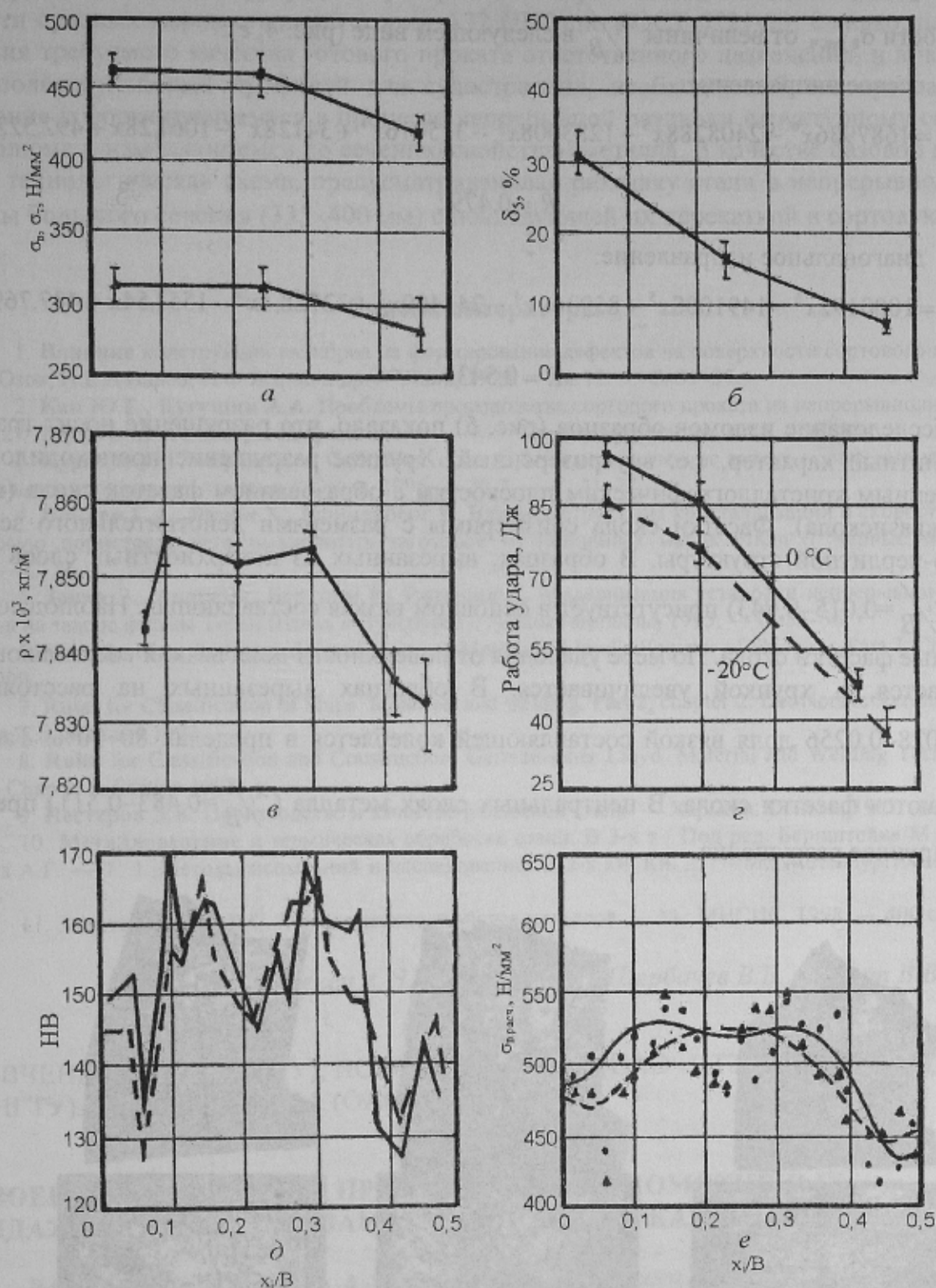


Рис. 4. Динамика изменения механических свойств по сечению непрерывнолитого блюма 335×400 мм стали А32 (D32): □ □ — осевое направление; Δ Δ диагональное направление

Проведенный пересчет величины твердости НВ в значения предела прочности $\sigma_{в}$, выполненный в соответствии с рекомендациями работ [10, 11] показал достаточно хорошее совпадение расчетных (рис. 4, е) значений $\sigma_{в}$ с экспериментальными (рис. 4, а). Однако, в области разориентированных дендритов резко возрастает вероятность выпадов, что объясняется с одной стороны наличием большого числа пор, а с другой значительной долей сульфидов и оксидов, имеющих более низкие значения твердости НВ и плотности ρ , чем металл. Для данной области применимо правило смешения. Стати-

ческая обработка полученных данных позволила построить линию тренда и установить зависимости $\sigma_{в.расч.}$ от величины x_i/B в следующем виде (рис. 4, е):

— осевое направление:

$$\sigma_{в.расч.} = 1687936x^6 - 2408288x^5 + 1283008x^4 - 315016x^3 + 34128x^2 - 1061,28x + 492,522;$$

$$R = 0,479;$$

— диагональное направление:

$$\sigma_{в.расч.} = 1000192x^6 - 1491008x^5 + 859360x^4 - 241400x^3 + 32728,4x^2 - 1551,54x + 487,769;$$

$$R = 0,5434.$$

Исследование изломов образцов (рис. 5) показало, что разрушение носит транс-кристаллитный характер, т.е. внутризеренный. Хрупкое разрушение происходило по определенным кристаллографическим плоскостям с образованием фасеток скола (возможно квазискола). Фасетки скола соизмеримы с размерами действительного зерна феррито-перлитной структуры. В образцах, вырезанных из поверхностных слоев металла ($x_i/B = 0,015-0,043$) присутствует в основном вязкая составляющая. Наблюдаются единичные фасетки скола. По мере удаления от поверхности доля вязкой составляющей уменьшается, а хрупкой увеличивается. В образцах вырезанных на расстоянии $x_i/B = 0,028-0,0256$ доля вязкой составляющей колеблется в пределах 80–90%. Также наблюдаются фасетки скола. В центральных слоях металла ($x_i/B = 0,483-0,511$) преобладает хрупкое разрушение.

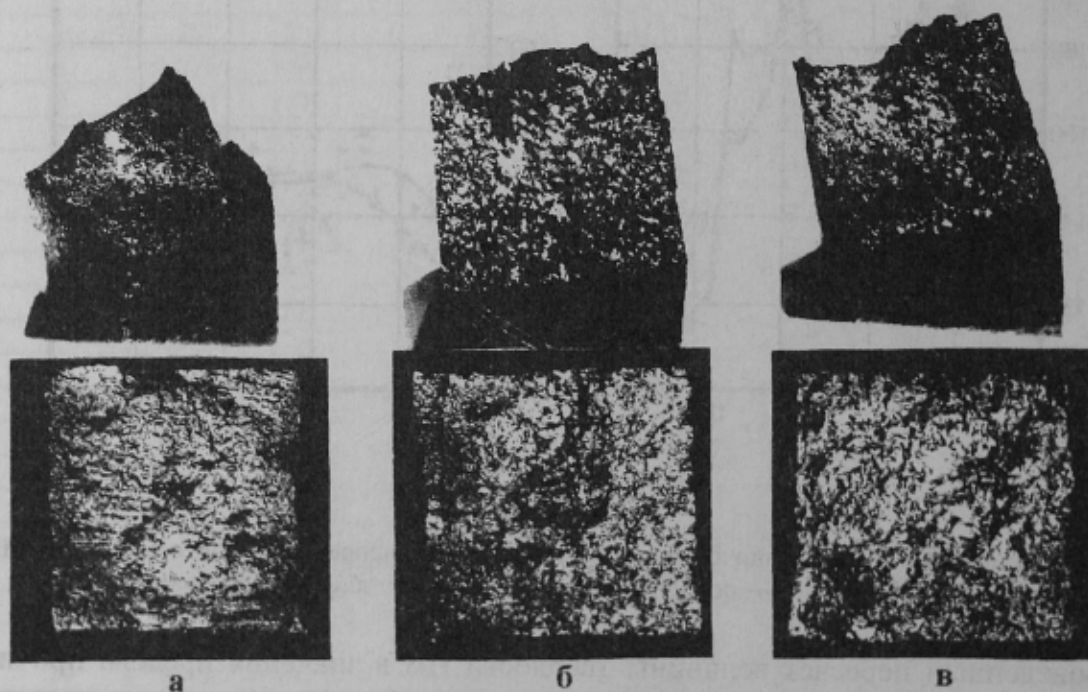


Рис. 5. Динамика изменения внешнего вида изломов образцов, вырезанных из различных точек по сечению непрерывнолитого блюма 335×400 мм: а — $x_i/B = 0,015 \div 0,043$; б — $x_i/B = 0,228 \div 0,256$; в — $x_i/B = 0,483 \div 0,511$

Таким образом, проведенные исследования показали, что достигнутый уровень технологии выплавки, доводки и непрерывной разливки стали на ведущих металлургических предприятиях Украины в состоянии обеспечить уже сегодня производство заготовки

для переката из сталей, содержание углерода в которых составляет 0,08–0,16%, и в частности судовых марок стали категории А32 (Д32) по ГОСТ 5521-93. Однако, для получения требуемого качества готового проката ответственного назначения, и в частности, полосульбовых профилей для судостроения, необходимо более пристальное внимание к формирующемуся в процессе непрерывной разливки структурному состоянию бляма и изменяющимся по сечению свойствам металла. В качестве базовой может стать технологическая схема, предусматривающая разливку стали в непрерывнолитые блюмы большого сечения (335×400 мм) с последующей их перекаткой в сортовую заготовку.

Список литературы

1. Влияние конструкции калибров на формирование дефектов на поверхности сортового проката / В.А.Юзов, И.Е.Назаров, П.Ф.Жаров и др. // Сталь, 1999. — № 12. — С. 35–37.
2. Кан Ю.Е., Кугушин А.А. Проблемы производства сортового проката из непрерывнолитых заготовок // Труды второго конгресса прокатчиков. — М.: Черметинформация, 1998. — С. 304.
3. Курандо И.Г., Афанасьев С.И., Нестеров С.Д. Технологические аспекты совмещения МНЛЗ с сортовыми прокатными станами // Сталь, 1996. — № 7. — С. 31–33.
4. Виннер Г.А., Якоби Х., Вюнненберг К. Влияние структуры кристаллизации и скорости литья на осевую пористость непрерывнолитых заготовок из различных марок стали // Черные металлы, 1995. — С. 56.
5. Зовка Э., Андре Б., Бертрам Р., Рженчик Х. Модернизация установки непрерывного литья блюмов на заводе фирмы Тесен Шталь в Дуйсбурге // Черные металлы, 1995. — С. 33–36.
6. **Manufacture, Testing and Certification of Materials.** Lloyd's Register of Shipping. Part 2, Chapter 3, July 1999.
7. **Rules for Classification of Ships. Materials and welding.** Part 2, chapter 2. Det Norske Veritas Classification A.S., January 1993.
8. **Rules for Classification and Construction.** Germanischer Lloyd. Material and Welding Technology. Part 1. Chapter 2. Edition 1998.
9. Нестеров Д.К. Производство и качество рельсовой стали. — Харьков: Основа, 1997. — 210 с.
10. **Металловедение** и термическая обработка стали. В 3-х т / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. — Т. 1. Методы испытаний и исследований. В 2-х кн. Кн. 2. — М.: Металлургия, 1991. — 462 с.
11. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. — М.: МИСИС, 1998. — 400 с.

© Лубенец А.Н., Смирнов Е.Н., Щербачев В.В., Несвет В.В., 2001

ЯКОВЧЕНКО А.В. (ДОНГТУ), НОВОХАТНИЙ В.А. (ОАО «НТЗ»), ЛОСКУТОВ А.Ю. (ДОНГТУ), ИВАЩЕНКО И.М. (ОАО «НТЗ»)

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛОКОМОТИВНЫХ БАНДАЖЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА

Разработана и освоена в условиях промышленного производства технология прокатки локомотивных бандажей на одном стане вместо традиционно использовавшихся двух. Представлен сравнительный анализ объемов брака по прокату при производстве промышленных партий бандажей по новой и существовавшей технологии в условиях прессопрокатной линии кольцебандажного цеха ОАО «Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (ОАО «НТЗ»).

Кольцебандажный цех ОАО «НТЗ» предназначен для производства железнодорожных бандажей, а также прямоугольных и фасонных в сечении колец широкого сортамента. В состав оборудования цеха входят участки подготовки заготовок, прессопрокатный и термический, отделки и приемки изделий. Прессопрокатный участок содержит две кольцевые печи; прессы для осадки (усилие 20 МН), формовки (40/20 МН) и