

параметров: $\rho = 8,86 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $C = 0,167 \text{ Дж}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$. Сопротивление деформации, согласно рис.1, принимали линейно зависящим от температуры. Температура плавления сплава $T_p = 200^\circ\text{C}$.

На рис. 4 приведен график зависимости предельной скорости стабильного прессования сплава от температуры разогрева контейнера. Расчетные значения максимальной скорости хорошо соответствуют экспериментальным, указанным выше. Это подтверждает гипотезу о том, что прерывистое истечение обусловлено появлением участков практически жидкого сплава на выходе из матрицы.

Выводы

Выполненные исследования показали, что проволоку малого сечения из оловянно-свинцовых припоев можно получать непосредственно методом прессования с высокими степенями вытяжки (коэффициент вытяжки более 1000), не используя операцию волочения. Для этого необходим лишь гидравлический пресс силой 2500 кН и обогреваемый контейнер, с температурой нагрева до 100°C . Для того, чтобы процесс прессования проходил стабильно, скорость прессования не должна превышать 1,2–1,3 мм/с. При этом производительность установки для проволок диаметром 2–6 мм составляет 160–200 кг/ч.

© Шевелев А.И., Сынков С.Г., 2004

СМИРНОВ Е.Н., ПЕТРУЩАК С.В. (ДОННТУ), ГРИГОРЬЕВ М.В. (ЗАО «ВИЗАВИ», Г. ДОНЕЦК)

МЕТАЛЛОВЕДЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОПОСТАВИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ПОЛОСОБУЛЬБОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Приведены результаты исследований особенностей структуры и свойств полосульбовых профилей для судостроения, произведенных ведущими предприятиями Англии, России, Италии и Германии. Показано, что использование разработанной технологической схемы производства в условиях стана 620 ОАО «Краматорский металлургический завод» гарантирует достижения качества последних на уровне лучших европейских образцов.

В условиях развития рыночных отношений постоянно возрастают требования к конкурентоспособности металлопродукции и деятельности металлургических предприятий в целом. Стратегия развития металлургической промышленности Украины требует реализации принципиально новых подходов к реконструкции предприятий, сбалансированной политики в области инвестиций, новых базовых технологических решений с целью создания высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих комплексов с получением металлопродукции в соответствии с требованиями мирового рынка.

Выход на мировой рынок сортового проката ответственного назначения сопряжен с решением целого ряда принципиальных задач, касающихся, в первую очередь, вопросов его металлоемкости и сертификации. Представленные в работах [1–3] данные по сопоставительному анализу используемых технологических схем, показывают, что разработанные в Украине технические решения в полной мере отвечают всем требованиям ведущих Классификационных обществ. Тем не менее, с точки зрения дальнейшей оптимизации технологии производства полосульбовых профилей, соответствующих мировому уровню, представляется целесообразным проведение комплексного исследования по оценке качества аналогичной продукции ведущих производителей на рынке этого проката. При этом, должен быть оценен не только уровень достигаемых механических свойств, но и параметры сформированной макро- и микроструктуры в готовом прокатке, неметаллические включения и т.д.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы являлась комплексная оценка качества полосульбовых профилей ведущих мировых производителей.

Объект исследования. В качестве объекта исследований были выбраны полосульбовые профили от 120x8 мм до 220x11 мм категории А различных европейских производителей (таблица 1). Для полноты экспериментального исследования анализу были подвергнуты профили, которые прокатали как в одинарном, так и сдвоенном виде из сляба, условия кристаллизации которого, а следовательно, и параметры исходной макроструктуры, несколько отличаются от условий кристаллизации блюмов и заготовки.

Табл. 1. Параметры производства и тип исследуемых полосульбовых профилей

№ п/п	Полосульбовый профиль, мм	Категория прочности	Производитель	Выплавка	Исходная заготовка	Прокатка
1	120x8	А	British Steel (Англия)	Электропечь	Непрерывнолитой квадрат 125x125 мм	В одинарном виде
2	140x8	А	ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия)	Мартеновская печь	Слиток-заготовка 150x150 мм-170x170 мм	В одинарном виде
3	160x9	А	AFV Beltrame (Италия)	Электропечь	Непрерывнолитой квадрат 160x160 мм	В одинарном виде
4	200x10	А	HSP (Германия)	Электропечь	Непрерывнолитой сляб	Прокатка в сдвоенном виде
5	220x11	А	HSP (Германия)	Электропечь	Непрерывнолитой сляб	Прокатка в сдвоенном виде

Полученные результаты и их обсуждение.

Химический анализ исследуемого металла приведен в таблице 2.

Табл. 2. Химический анализ металла, исследуемых полосульбовых профилей

№ п/п	Размер, мм	Массовая доля элементов, %*								
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
1	120x8	0,14	0,53	0,22	0,016	0,013	0,04	0,04	0,06	0,010
2	140x8	0,11	0,59	0,27	0,037	0,022	0,17	0,14	0,17	0,050
3	160x9	0,16	0,65	0,19	0,016	0,015	0,04	0,03	0,04	0,013
4	200x10	0,12	0,65	0,22	0,016	0,014	0,03	0,03	0,03	<0,005
5	220x11	0,12	0,89	0,21	0,009	0,012	0,05	0,03	0,03	0,032

* - массовая доля углерода и серы определялась химическим методом, остальных элементов – спектрально

Сопоставление результатов фактического химического анализа исследуемого металла с требованиями Germanischer Lloyd, показывает, что весь исследуемый металл находится в регламентируемом интервале.

Вместе с тем, из анализа данных таблицы 2 видно, что массовая доля углерода выше в профиле 160x9 мм фирмы AFV Beltrame (Италия) — 0,16%, чуть ниже в профиле 120x8 мм фирмы British Steel (Англия) — 0,14% и на одном уровне 0,11–0,12% в металле профиля 140x8 мм производства ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия) и 200x10 мм, 220x11 мм фирмы HSP (Германия).

При сравнении содержания марганца в металле всех производителей установлено, что оно значительно больше (0,89%) в профиле 220x11 мм фирмы HSP (Германия), и меньше всего в профиле 120x8 мм фирмы British Steel (Англия) — 0,53%.

Массовая доля кремния также различается: 0,027% в профиле 140x8 мм (выше, чем в остальном металле) и 0,019% в профиле 160x9 мм (ниже, чем в прокате остальных производителей).

Содержание таких примесей как сера и фосфор отличается в небольших пределах: 0,009–0,016% сера и 0,012–0,015% фосфор в четырех профилях разных производителей, кроме профиля 140x8 мм производства ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия), где они намного выше (особенно сера).

Массовая доля остаточных примесей — хрома, никеля и меди очень низкая в металле профилей четырех фирм аналогично содержанию серы и фосфора, кроме профиля 140x8 мм (ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия)).

Содержание алюминия колеблется в широких пределах — <0,005% (практически отсутствует) в профиле 200x10 мм фирмы HSP (Германия), немного выше — 0,010–0,013% в профилях 120x8 мм, 160x9 мм (фирма British Steel (Англия) и AFV Beltrame (Италия)), 0,032% и очень высокое — 0,05% в профиле 140x8 мм (ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия)). Это вполне естественно, так как в непрерывнолитом металле массовая доля алюминия обычно ниже из-за ухудшения разливаемости стали при высоком содержании алюминия.

Сопоставление механических свойств полосульбовых профилей приведено на рисунке 1. Представленные результаты показывают, что большинство производителей, в том числе и украинских, работают в середине регламентированного интервала. Колебания в уровне механических свойств имеют незначительный характер и не позволяют делать каких-либо однозначных выводов.

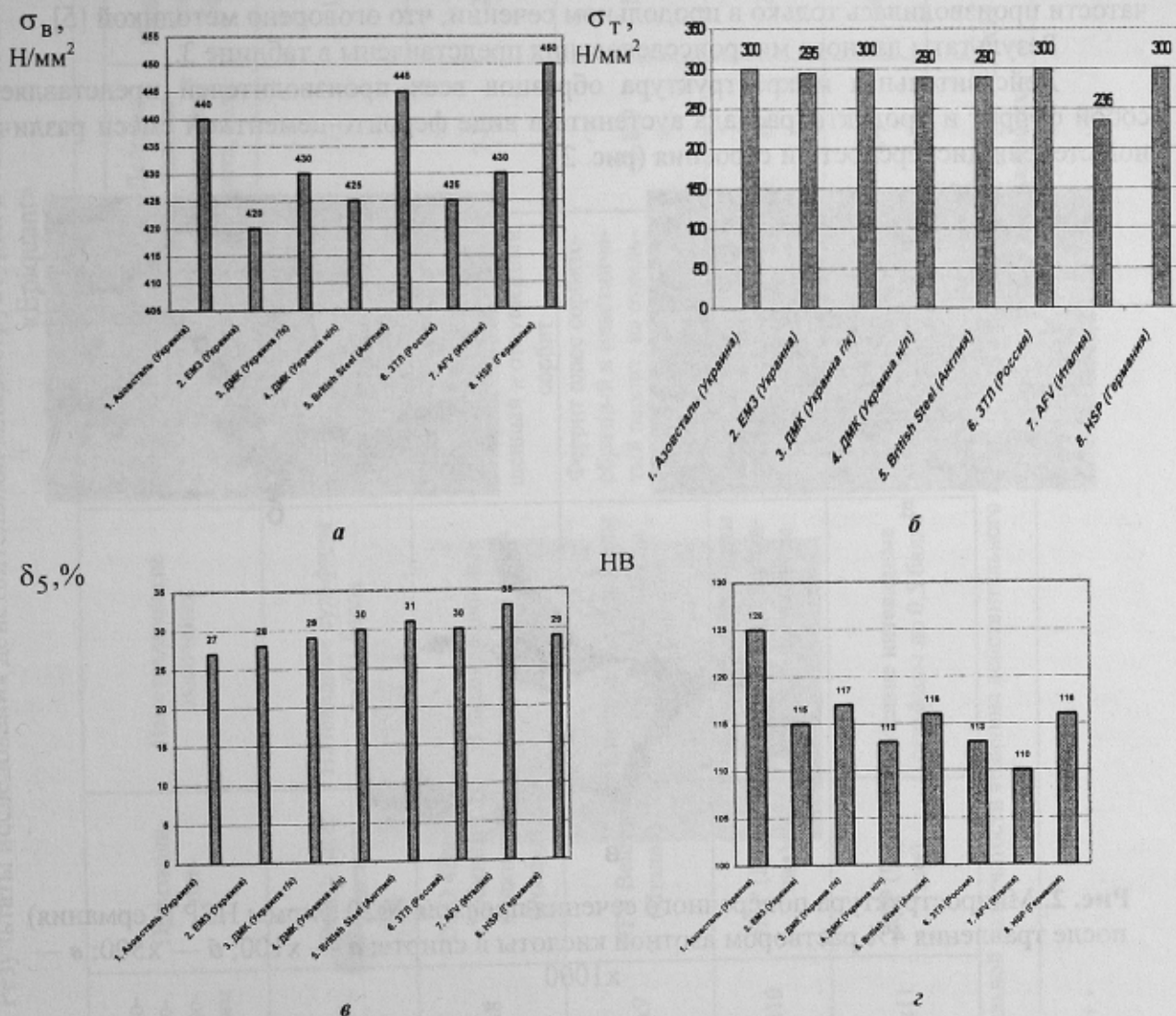


Рис. 1. Сравнительные данные о механических свойствах полосульбовых профилей разных производителей: а — предел прочности $\sigma_{в}$, Н/мм²; б — предел прочности $\sigma_{т}$, Н/мм²; в — относительное удлинение δ_5 , %; г — твердость НВ

Анализ параметров действительной структуры готового проката был произведен по следующим параметрам: неметаллические включения [4], действительная структура [5], дендритная структура и микротвердость [8].

Оценка загрязненности исследуемых образцов полособульбовых профилей неметаллическими включениями производилась в продольном сечении по методике [4] сравнением с эталонными шкалами и ее результаты представлены в таблице 3. В основном, в металле всех производителей присутствуют нитевидные сульфиды и сульфидооксидные включения, где преобладающей является сульфидная фаза. Балл включений незначительно колеблется от 0,5 балла до 1,0 балла (в ликвационных полосах). Только в металле профиля 200x10 мм фирмы HSP (Германия) наблюдается полупластичные силикаты, балл которых также не превышает 1,0. Однако встречаются также и единичные включения 2,5 балла. Наличие силикатных включений является следствием недораскисленности металла при практически полном отсутствии более сильных раскислителей (в частности алюминия), чем кремния.

Действительная микроструктура оценивалась в продольном и поперечном сечениях путем сравнения со стандартными шкалами ГОСТов 5639-82 (балла действительного зерна феррита) [5] и 5640-68 (полосчатость и видманштетт) [6], а также путем подсчета процентных соотношений фаз и размеров структурных составляющих с помощью структурного анализатора «Eriquant». Необходимо отметить, что оценка полосчатости производилась только в продольном сечении, что оговорено методикой [5].

Результаты данного микроисследования представлены в таблице 3.

Действительная микроструктура образцов всех производителей представляет собой феррит и продукты распада аустенита в виде феррито-цементной смеси различной степени дисперсности и строения (рис. 2).

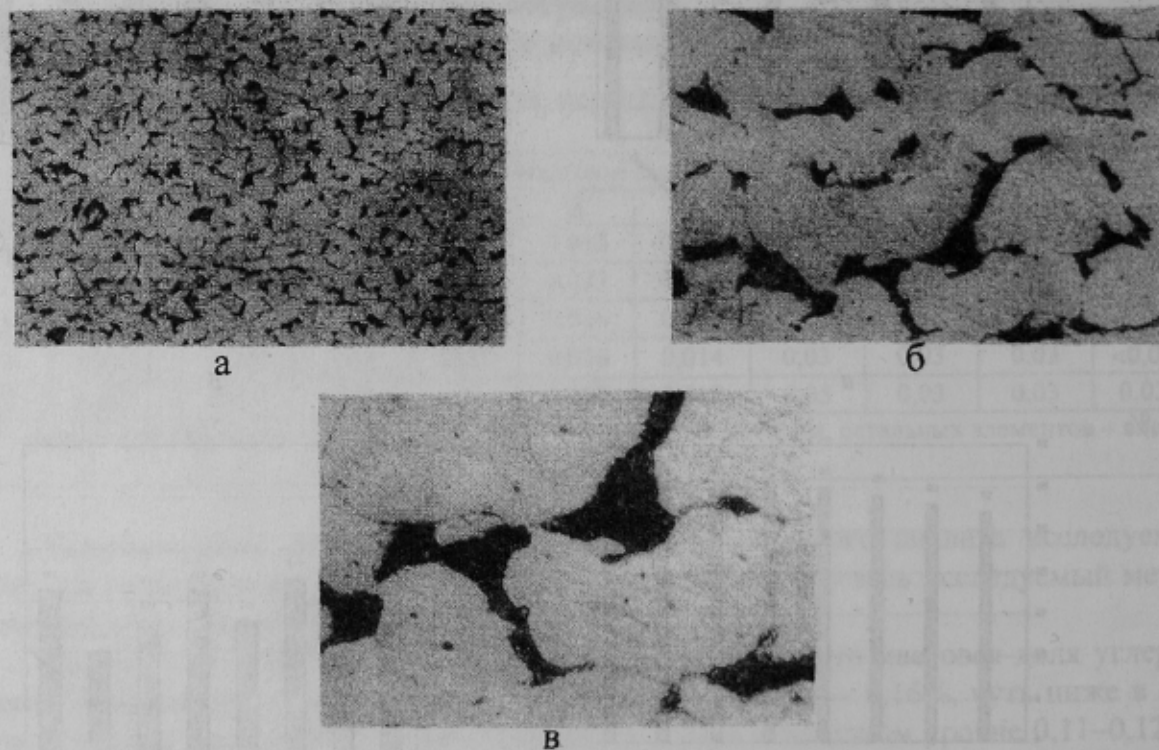


Рис. 2. Микроструктура поперечного сечения профиля №20 фирмы HSP (Германия) после травления 4% раствором азотной кислоты в спирте: *а* — $\times 100$; *б* — $\times 500$; *в* — $\times 1000$

Табл. 3. Результаты исследования действительной микроструктуры, в том числе и подсчета с помощью структурного анализатора «Eriquant»

№ п/п	Полособульбовый профиль, мм	Производитель	Неметаллические включения	Действительная микроструктура	Параметры действительной структуры						
					Действительное зерно феррита, балл	Полосчатость, балл	Виды инштетт, балл	Содержание фаз %		Средний размер структурных составляющих, мкм	
								феррит	перлит	Действительного зерна феррита	Участков перлита
1	120x8	British Steel (Англия)	Нитевидные сульфиды до 0,5 балла	Феррит плюс сорбит, сорбитообразный резе пластинчатый перлит, перлит-сорбитные участки	7	1,0	0	79,0	21,0	16,2	4,8
2	140x8	ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия)	В ликвидационных полосах до 1,0 балла	Феррит плюс сорбитообразный и пластинчатый перлит, неотпущенный и отпущенный сорбит	7-8	2,0	0	84,2	15,8	15,4	3,4
3	160x9	AFV Beltrame (Италия)	Нитевидные сульфиды и сульфидо-оксиды до 1,0 балла	Феррит плюс сорбитообразный и пластинчатый перлит, на отдельных участках отпущенный	7-8-9	1,5	0	78,2	21,8	17,0	5,1
4	200x10	HSP (Германия)	Нитевидные сульфиды до 1,0 балла, полупластинчатые силикаты до 2,5 балла	Феррит плюс сорбитообразный перлит и отпущенный сорбит	7	2,0	0	80,8	19,2	16,5	4,2
5	220x11	HSP (Германия)	Мелкие нитевидные сульфиды до 0,5 балла	Феррит плюс сорбитообразный перлит, неотпущенный и на отдельных участках отпущенный сорбит	8-9	4,5	0	76,9	23,1	23,9	16,5
										└ 10,1	3,1

* - из-за сильной полосчатости величина действительного зерна феррита в структуре в профиле 220x11 мм фирмы HSP (Германия) подсчитывались в продольном и поперечном направлениях

Балл действительного зерна феррита в исследуемых 3-х образцах (120x8 мм, 140x8 мм, 200x10 мм) отличается незначительно. В профиле 160x9 мм фирмы AFV Beltrame (Италия) выявлена разнотернистость, а в профиле 220x11 мм фирмы HSP (Германия) более мелкозернистая структура. Разнотернистость феррита, вероятно, образовалась в результате рекристаллизации.

Подсчет количественного соотношения фаз в исследуемом прокатке показал, что наибольшее содержание ферритной составляющей (84,2%) в профиле 140x8 мм ОАО «Завод турбинных лопаток». Одним из факторов, способствующим большему проценту феррита в микроструктуре данного профиля, явилась большая массовая доля феррито-образующих элементов — кремния и, особенно, алюминия, а также зародышей нитридов алюминия, которые выделились в процессе охлаждения слитка или во время горячей деформации.

Содержание перлита немного выше, чем в остальных образцах в профиле 220x11 мм фирмы HSP (Германия), что можно объяснить наличием в металле более высокого содержания марганца, повышающего устойчивость аустенита и увеличивающего прокаливаемость, а также, вероятно, пониженной температурой окончания прокатки.

Подсчет количественного соотношения фаз в исследуемом прокате показал, что наибольшее содержание ферритной составляющей (84,2%) в профиле 140x8 мм ОАО «Завод турбинных лопаток». Одним из факторов, способствующих большему проценту феррита в микроструктуре данного профиля, явилась большая массовая доля ферритообразующих элементов — кремния и, особенно, алюминия, а также зародышей нитридов алюминия, которые выделились в процессе охлаждения слитка или во время горячей деформации.

Содержание перлита немного выше, чем в остальных образцах в профиле 220x11 мм фирмы HSP (Германия), что можно объяснить наличием в металле более высокого содержания марганца, повышающего устойчивость аустенита и увеличивающего прокаливаемость, а также, вероятно, пониженной температурой окончания прокатки.

Следует отметить, что формирование действительной микроструктуры проката зависит от температуры окончания горячей деформации и от толщины (размера) профиля, обуславливающей скорость охлаждения после горячей деформации. Это может приводить к образованию закалочных структур (мартенсита, бейнита) в поверхностных слоях или в тонких сечениях. При дальнейшем медленном охлаждении во время складирования большого количества горячего проката за счет внутреннего тепла может происходить отпуск полученных закалочных структур. Несмотря на то, что во всех профилях встречаются отпущенные структуры, в образце профиля 120x8 мм фирмы British Steel (Англия) (наименьшей толщины) присутствует больше неотпущенного сорбита (сорбита закалки), чем в металле остальных производителей, т.е. данный профиль охлаждался с меньшей скоростью ниже критической точки A_{r1} . В образцах профилей 140x8 мм ОАО «Завод турбинных лопаток» и 180x9 мм фирмы AFV Beltrame (Италия) наблюдается пластинчатый перлит, что свидетельствует о более медленной скорости охлаждения. В образцах профиля 200x10 мм и 220x11 мм как и в металле остальных производителей имеется сорбитообразный перлит и сорбит, как неотпущенный, так и отпущенный (в начальной стадии сфероидизации).

Такой показатель, как полосчатость феррито-перлитной структуры в продольном сечении всех 4-х профилей изменяется в небольших пределах — от 1,0 до 2,0 баллов. При этом в краевых зонах ее вообще не обнаружено. Наиболее сильная полосчатость — до 4,5 баллов по сечению профиля 220x11 мм фирмы HSP (Германия). В тоже время, в поверхностных зонах проката она также отсутствует, как и в профилях остальных производителей. В данном прокате, кроме того, отмечается разноструктурность — на фоне резко полосчатой структуры с зерном феррита 8-го балла присутствуют участки с более мелким зерном 9-го балла, где полосчатость менее выражена. По-видимому,

различное строение связано с микронеоднородностью (дендритной ликвацией), при которой действительная структура наследует дендритное строение литого металла, что обусловило формирование резко выраженной полосчатости.

Изучение волокнистой структуры проката в продольном сечении после травления реактивом Обергоффера выявило широкие светлотравящиеся полосы шнуровой ликвации в осевой зоне в профиле 220x11 мм фирмы HSP (Германия) (рис. 3, а). В образце профиля 200x10 мм этой же фирмы, скопление ликвационных полосок обнаружено во внецентренной зоне ближе к одной из поверхностей проката (рис. 3, б).

Тонкая белая ликвационная полоса в осевой зоне и нитевидные полосы по сечению (рис. 3, в) наблюдаются в сечении профиля 140x8 мм производства ОАО «Завод турбинных лопаток», (мартен-слиток-заготовка ОАО «Северсталь», Россия), что является следствием повышенного содержания серы и фосфора, обусловивших более высокую ликвацию в слитковом металле по сравнению с непрерывнолитым, и, вероятно, развитием такого дефекта в слитке, как точечная неоднородность.

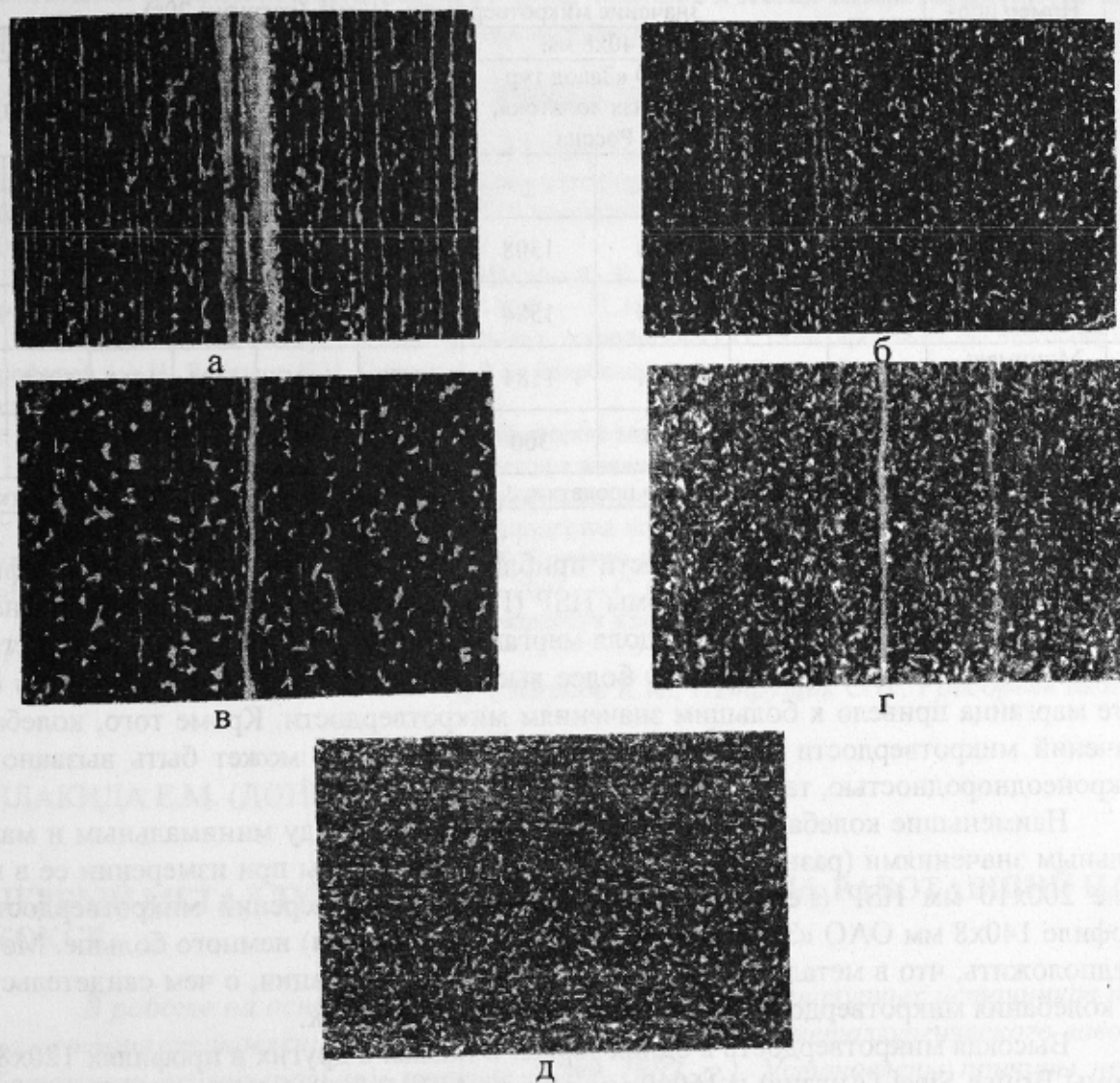


Рис. 3. Ликвационные полосы в металле продольного сечения профиля (травление реактивом Обергоффера): *а* — в осевой зоне профиля 220x11 мм, х 100; *б* — во внецентренной зоне профиля 200x10 мм, х 50; *в* — в осевой зоне профиля 140x8 мм, х 100; *г* — вблизи поверхности профиля 160x9 мм, х 50; *д* — в осевой зоне профиля 160x9 мм, х 50

В металле профиля 160x9 мм фирмы AFV Beltrame (Италия) в приповерхностной зоне встречается типичный дефект непрерывного слитка — ликвационные полосы (залеченные трещины) (рис. 3, г). Слаботравящиеся ликвационные полосы видны толь-

ко в центральной части (рис. 3, д). В образце профиля 120x8 мм фирмы British Steel (Англия) аналогично профилю 160x9 мм также имеются слаботравящиеся ликвационные полосы в центральной зоне.

Очевидно, что в феррито-перлитных сталях с преобладанием ферритной составляющей (в исследованном металле примерно 77–84%) свойства феррита оказывают значительное влияние на уровень механических свойств. Свойства феррита, одним из показателей которых является микротвердость последнего, зависят от массовой доли элементов, растворенных в феррите (Mn, Si, P), уровня микронеоднородности (дендритной ликвации), существующей в металле, а также тонкой структурой (субструктуры), образовавшейся в результате горячей деформации и охлаждения после нее. Результаты измерения микротвердости феррита в продольном и поперечном сечениях образцов проката представлены в таблице 4 [8].

Табл.4. Результаты измерения микротвердости феррита

№ п/п	Номер профиля	Значение микротвердости, Н/мм ² , (нагрузка 20г)									
		120x8 мм		140x8 мм		160x9 мм		200x10 мм		220x11 мм	
	Производитель	British Steel (Англия)		ОАО «Завод турбинных лопаток», Россия		AFV Beltrame (Италия)		HSP (Германия)			
Сечение/Значения		⊥		⊥		⊥		⊥		⊥	
1	Среднее 20 знач.	1298	1356	1370	1308	1307	1309	1260	1348	1682	1635
2	Максимальное	1584	1524	1524	1584	1524	1784	1413	1467	2127	2035
3	Минимальное	1072	1107	1184	1184	1107	1145	1184	1268	1268	1225
4	Разница (max-min)	512	417	340	300	417	639	199	229	859	810

*- || — сечение параллельно направлению прокатки; ⊥ — перпендикулярно направлению прокатки.

Среднее значение микротвердости приблизительно одинаково во всех профилях разных фирм, кроме 220x11 мм фирмы HSP (Германия). Как уже отмечалось ранее, в металле данного профиля массовая доля марганца на 0,25–0,36% выше, чем в металле остальных производителей. Поэтому более высокое содержание растворенного в феррите марганца привело к большим значениям микротвердости. Кроме того, колебания значений микротвердости в этом образце наибольшие, что может быть вызвано как микронеоднородностью, так и частичной рекристаллизацией.

Наименьшие колебания микротвердости феррита между минимальным и максимальным значениями (разница составляет 199–229) получены при измерении ее в профиле 200x10 мм HSP (Германия). Разница колебаний измерений микротвердости в профиле 140x8 мм ОАО «Завод турбинных лопаток» (Россия) немного больше. Можно предположить, что в металле произошел процесс полигонизации, о чем свидетельствуют колебания микротвердости феррита в небольших пределах.

Высокая микротвердость в одних зернах и низкая в других в профилях 120x8 мм фирмы British Steel (Англия) и 160x9 мм фирмы AFV Beltrame (Италия) позволяет утверждать, что в металле произошла частичная рекристаллизация (разупрочнение) одних объемов и остались нерекристаллизованными (сохранившими деформационное упрочнение) другие объемы.

Сравнение вышеприведенных данных с аналогичными данными, касающимися качества полособульбовых профилей, произведенными в Украине по новой технологической схеме [2,7], однозначно свидетельствуют о том, что они по своим характеристикам (уровень механических свойств, макро- и микроструктура и т.д.) идентичны продукции ведущих мировых производителей. Кроме того, по параметрам, характеризую-

щим их макроструктуру, они превосходят продукцию фирмы HSP (Германия), производимую из слябов [2,7] в сдвоенном виде с последующим разделением.

Выводы

Произведена комплексная оценка качества полосульбовых профилей для судостроения ведущих европейских производителей, которые отличались как по способу получения исходной заготовки, так и по способу прокатки готовой продукции. В результате проведенных исследований изучены особенности сформированной действительной структуры, характер неметаллических включений и дендритная структура. Показано, что ферритная составляющая во всех исследуемых образцах составляет 77-84%. При этом, среднее значение микротвердости феррита приблизительно одинаково для большинства профилей. Сопоставление результатов исследования с аналогичными данными, полученными при всесторонней оценке качества полосульбовых профилей, произведенных в условиях стана 620 ОАО «КМЗ им. Куйбышева» из непрерывнолитого металла показывает, что разработанная технологическая схема гарантирует получение продукции на уровне лучших мировых образцов.

Список литературы

1. Минаев А.А., Смирнов Е.Н. Интеграционные аспекты в развитии технологических схем производства проката ответственного назначения из непрерывнолитого металла // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич.зб.наук.пр. — Краматорськ, 2002. — С. 105–111.
2. Лубенец А.Н., Смирнов Е.Н., Щербачёв В.В. Опыт производства судовых профилей из непрерывнолитой заготовки // Сталь, 2002. — № 8. — С. 102–106.
3. Состояние и перспективы развития технологических схем производства полосульбовых профилей / А.Н. Лубенец, Е.Н. Смирнов, В.В. Щербачёв и др. // Труды IV Конгресса прокатчиков. Россия. — М., 2002. — т.1. — С. 320–325.
4. ГОСТ 1778-70 Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.
5. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
6. ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты.
7. Исследование особенностей производства полосульбовых профилей из непрерывнолитых заготовок / А.А. Минаев, А.Н. Лубенец, Е.Н. Смирнов и др. // Сб. научн. трудов ДОННТУ, Серия: "Металлургия", Выпуск 18. — Донецк, ДОННТУ, 2003. — С. 6–17.
8. ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.

© Смирнов Е.Н., Петрущак С.В., Григорьев М.В., 2004

ПЛАКИДА Е.М. (ДОННТУ)

ПЕРВЫЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД УКРАИНЫ, РАБОТАВШИЙ НА КОКСЕ

В работе на основе исследования архивных и литературных источников показана история становления и развития первого в Украине металлургического завода работавшего на минеральном топливе (1799–1887 гг.). Установлены причины неудач в организации выплавки чугуна на Луганском казенном чугуноплавильном заводе в крупных промышленных масштабах, которые являлись следствием как экономических, так и технических условий. Показано значение предприятия для дальнейшего развития металлургии Украины.

На территории Украины производство металла осуществлялось с глубокой древности. Одним из центров металлургического производства являлось существовавшее в IV–III ст. до н.э. на р. Днепре Каменское городище.