

7. Попов А.А. Фазовые превращения в металлических сплавах. — М.: Metallurgizdat, 1963. — 312 с.
8. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. — М.: Metallurgiya, 1969. — 376 с.
9. Садовский В.Д. Структурная наследственность в стали. — М.: Metallurgiya, 1973. — 208 с.
10. Шаповалов С.И., Алимов В.И. Влияние температуры аустенитизации на изотермический распад углеродистой стали // Изв. вузов. Черная металлургия, 1974. — № 8. — С. 86–89.
11. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах. — М.: Metallurgiya, 1982. — 128 с.
12. Баранов А.А. Образование аустенита в железных сплавах // Наукові праці ДонДТУ. Металургія. Вип. 31. — Донецьк: ДонДТУ, 2001. — С. 51–66.
13. Богомолова Н.А. Практическая металлография. — М.: Высш.шк, 1987. — 240 с.
14. Коваленко В.С. Лазерная технология. — К.: Высш.шк, 1989. — 280 с.
15. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология. Кн. 3: Методы поверхностной лазерной обработки. — М.: Высш.шк, 1987. — 190 с.
16. Смуров И.Ю., Гуськов А.Г. Плавление и термокапиллярная конвекция при воздействии концентрированных потоков энергии на металлы // Физико-химические процессы обработки материалов концентрированными потоками энергии. — М.: Наука, 1989. — С. 25–37.
17. Тарасова Т.В. Распределение элементов в ванне расплава при лазерном легировании / МІТОМ, 2002. — № 3. — С. 24–27.
18. Коваленко В.С. Металлографические реактивы. — М.: Metallurgiya, 1981. — 120 с.

© Алимов В.И., Крымков В.Н., 2003

СМИРНОВ Е.Н., ЛЕЙРИХ И.В. (ДОННТУ), ГРИГОРЬЕВ М.В. (ЗАО «ВИЗАВИ», Г. ДОНЕЦК), ЩЕРБАЧЕВ В.В. (ОАО «КРАМАТОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД ИМ. КУЙБЫШЕВА», Г. КРАМАТОРСК)

РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЯ Н-170У ИЗ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА

Приведены результаты исследований структуры и свойств профиля ответственного назначения Н-170У, полученного прокаткой непрерывнолитой заготовки из стали 35. Показано, что использование рекомендованной технологической схемы производства в условиях стана 620 ОАО «Краматорский металлургический завод» обеспечивает получение требуемого уровня свойств при сокращении энергозатрат.

Производство стали во всем мире является высокоэнергозатратной технологией — металлургия в целом потребляет около 20% всех энергоресурсов, а черная металлургия — около 10% [1]. Стоимость энергии в производстве металла составляет примерно половину цены стальной заготовки. Указанные выше показатели потребления энергии в металлургии характерны практически для всех развитых стран, в том числе и для Украины. Поэтому энергоемкость стальной продукции следует рассматривать в качестве одного из основных показателей, определяющих как положение стали на рынке материалов, так и конкурентоспособность каждого из видов металлопроката.

Во второй половине XX века четко проявились признаки глобализации мировой индустрии, характеризующиеся существенным изменением размещения производства, в частности металлургического. В промышленно развитых странах, таких как США, Германия, Англия, Франция, потребление стали стабилизировалось на уровне 400–500 кг/чел. и обозначилась тенденция к снижению ее производства и потребления [2].

В настоящее время Украина по производству стали, выпуск которой в 2001 году составил 33,5 млн. т., занимает седьмое место в мире [3]. При этом в сфере соотношения производства и потребления черных металлов показатели Украины не имеют ана-

логов в мире: процент внутреннего потребления проката снизился с 42% в 1995 г. до 16% в 1999 г. (минимальное значение для металлургии Украины в XX веке), а затем наметилась тенденция к росту: 2000 г. 16,8%, 2001 г. 17,7% (таблица 1). Для России этот показатель в 2000 году находился на уровне 40%, Бразилии — 50%, Польши, Японии — 70%. Внутреннее потребление готовой металлопродукции на душу населения в 2000 году составило всего 118 кг [4]. Следует напомнить, что к концу 80-х годов производство стали в бывшем СССР составляло 163 млн. тонн и страна вышла на первое место в мире по выплавке стали на душу населения — 530 кг/чел. [5].

Табл. 1. Показатели производства стали и проката в Украине и их соотношение, млн. т. [4]

Годы	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Производство стали	22,3	22,3	25,6	24,4	27,4	31,8	33,5
Производство готового проката *	16,6	17,0	19,5	17,8	19,3	22,5	25,3
Отношение производства стали и проката	1,34	1,31	1,31	1,37	1,42	1,41	1,33
Уточненный объем производства готового проката	17,0	17,3	20,4	19,6	22,6	26,2	27,7
Отношение производства стали к уточненному производству проката	1,31	1,29	1,25	1,24	1,21	1,21	1,21
Превышение уточненного объема производства готового проката над статистической отчетностью	0,4	0,3	0,9	1,8	3,3	3,7	2,4

* — по статистической отчетности

Все вышеизложенные процессы характерны и для черной металлургии Донецкой области, являющейся стержнем ее экономики. По итогам 2000 года на долю продукции предприятий черной металлургии в Донецкой области приходилось 53,2% от общего объема внутреннего валового продукта. Другие базовые отрасли промышленности в совокупности произвели 36,6% от общего объема ВВП: на долю угольной промышленности приходится 14,8%, электроэнергетики — 9,9%, машиностроения и металлообработки — 8,4%, химической промышленности — 3,5%. Внутренне потребление металлопродукции находилось на уровне 28,7% [6].

На фоне высокого технического уровня черной металлургии передовых стран, общее положение металлургического комплекса области, как и всей страны, характеризуется: структурным несовершенством и технологическим отставанием предприятий, наличием острой необходимости проведения их модернизации и реконструкции, расширения сортамента продукции, коренного повышения ее качества; — стойким старением основных производственных фондов; — неэффективным использованием сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, удельные затраты которых намного превышают аналогичные показатели развитых стран; — низкими объемами производства, вызывающими увеличение всех удельных затрат; — несовершенным сортаментом металлопродукции, крайне малой долей легированного металла, тонкого листа, практически отсутствием производства жести [7].

Проведенные сопоставительные расчеты энергозатрат на единицу цены переделной заготовки [8], полученной по новым и действующим технологическим схемам (рис. 1) показывают, что создание современного сталеплавильного комплекса по производству 1 миллиона тонн переделной заготовки при прочих равных условиях позволяет достигнуть экономии энергии, эквивалентной 105 тыс. тонн угля (таблица 2).

Переход на непрерывнолитую заготовку требует проведения дополнительных исследований, связанных с оценкой качества готового проката. При этом особое место в технологической системе экспертиз занимают крупносортовые профили, характеризующиеся повышенными толщинами элементов и более жесткими требованиями к металлу со стороны потребителей.

Табл. 2. Сопоставительные параметры энерго- и материалоемкости технологических схем производства заготовки

Схема производства	Энергоемкость		Исходные технологические параметры		Необходимый объем энергии		Необходимый объем первичной энергии**		Необходимый объем угля, млн. тонн	Экономия угля, тыс. тонн
	ГДж/т	кВт*ч/т	Объем производства, млн.т	Суммарные потери стали от жидкого металла до заготовки, кг/т [8]	млн. ГДж	млрд. кВт*ч*	млн. ГДж	млрд. кВт*ч		
А	23,7	6583	1,0	128	23,7	6,583	81,724	22,700	1,913	104,94
Б	24,75	6875	1,0	155	24,75	6,875	85,344	23,707	1,998	20,06
В	25,0	6944	1,0	357	25,0	6,944	86,207	23,945	2,018	-

* и ** см. табл. 4

Проведенные ранее работы по изменению технологической схемы производства крупносортовых профилей ответственного назначения (полособульбовых, профиль планки замкового соединения ПЗС-20) [9–11], с целью ее приведения в соответствии с принятыми на Западе представлениями о рациональных технологических циклах, создали все необходимые предпосылки для проведения исследований по оценке возможности производства профиля углового для рек подачи очистных комбайнов Н 170-У (ТУ 14-2-549-83) из непрерывнолитого металла. В сортаменте стана 620 ОАО «Краматорский металлургический завод им. В.В. Куйбышева» данный профиль имеет наиболее толстые полосовые элементы, а его потребителем является угольное машиностроение.

В соответствии с техническими условиями профиль Н 170-У изготавливают из стали 35 по ГОСТ 1050-88. Учитывая, что профиль Н 170-У также относится к профилям ответственного назначения, то, как и в случае профилей ПЗС-20, в качестве поставщика передельной заготовки был выбран ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского». В качестве исходной использовали заготовку сечением 170×170 мм и длиной 3000 мм, полученную по технологической схеме Б (рис. 1).

Химический состав стали приведен в таблице 3.

Табл. 3. Химический состав стали опытной партии

С	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,33	0,67	0,35	0,027	0,015	0,01	0,02	0,03

Опытная партия профиля Н 170-У была прокатана по существующему на стане режиму обжатий, который характеризуется следующими деформационными параметрами:

- суммарный коэффициент вытяжки от заготовки до готового профиля $\mu_{\Sigma} = 6,1$;
- коэффициент высотной деформации по ширине полосового элемента профиля $\frac{1}{\eta} = 6,07 \dots 8,50$.

Температура начала прокатки составляла 1280°С.

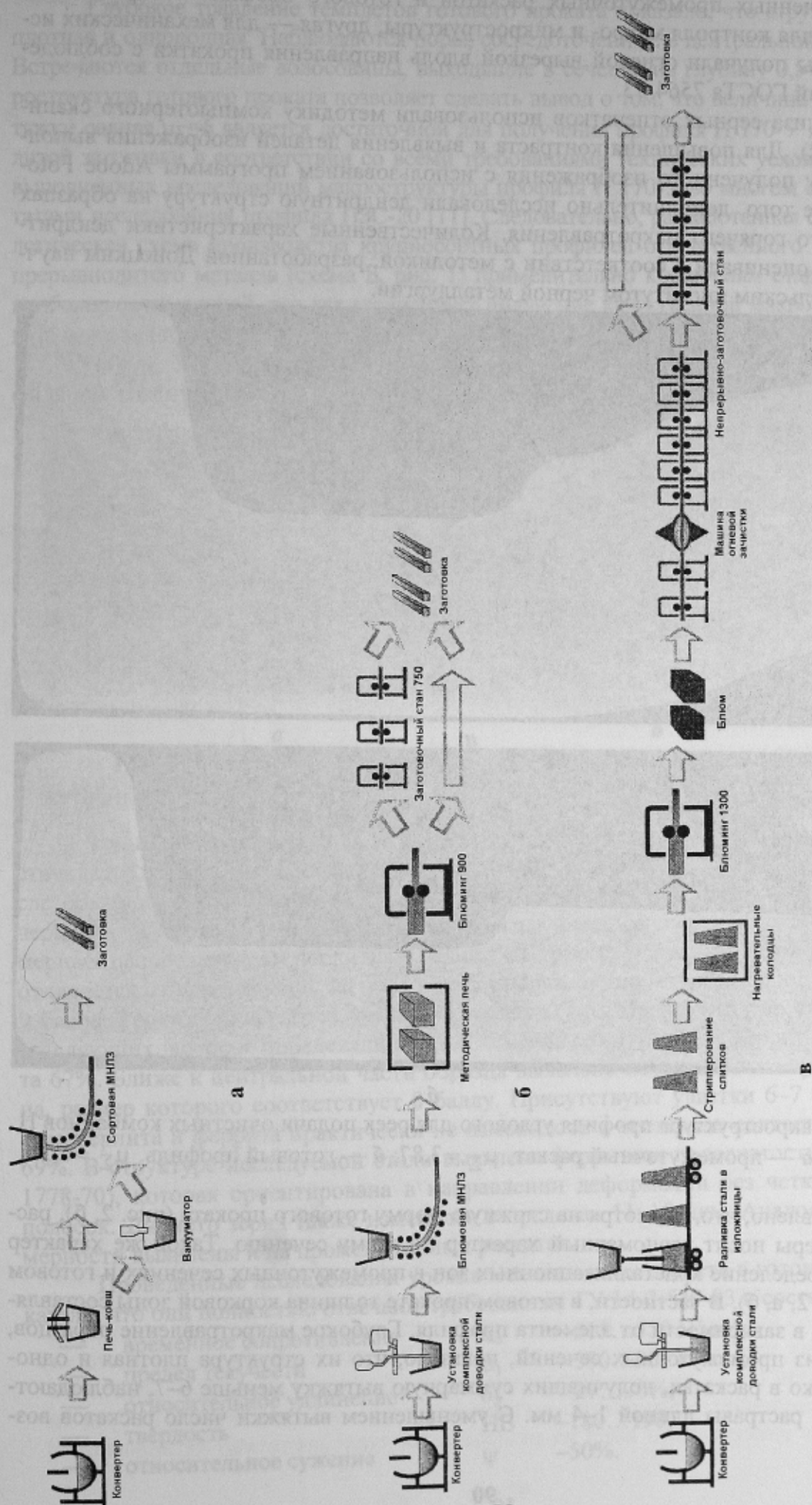


Рис. 1. Вновь создаваемые (а, б) и существующая (в) технологические схемы производства заготовки

От полученных промежуточных раскатов и готового профиля отобрали по 2 пробы — одна для контроля макро- и микроструктуры, другая — для механических испытаний. Пробы получали огневой вырезкой вдоль направления прокатки с соблюдением требований ГОСТа 7564-73.

Для анализа серных отпечатков использовали методику компьютерного сканирования (рис. 2). Для повышения контраста и выявления деталей изображения выполняли обработку полученного изображения с использованием программы Adobe Photoshop 5.5. Кроме того, дополнительно исследовали дендритную структуру на образцах после глубокого горячего макротравления. Количественные характеристики дендритной структуры оценивали в соответствии с методикой, разработанной Донецким научно-исследовательским институтом черной металлургии.

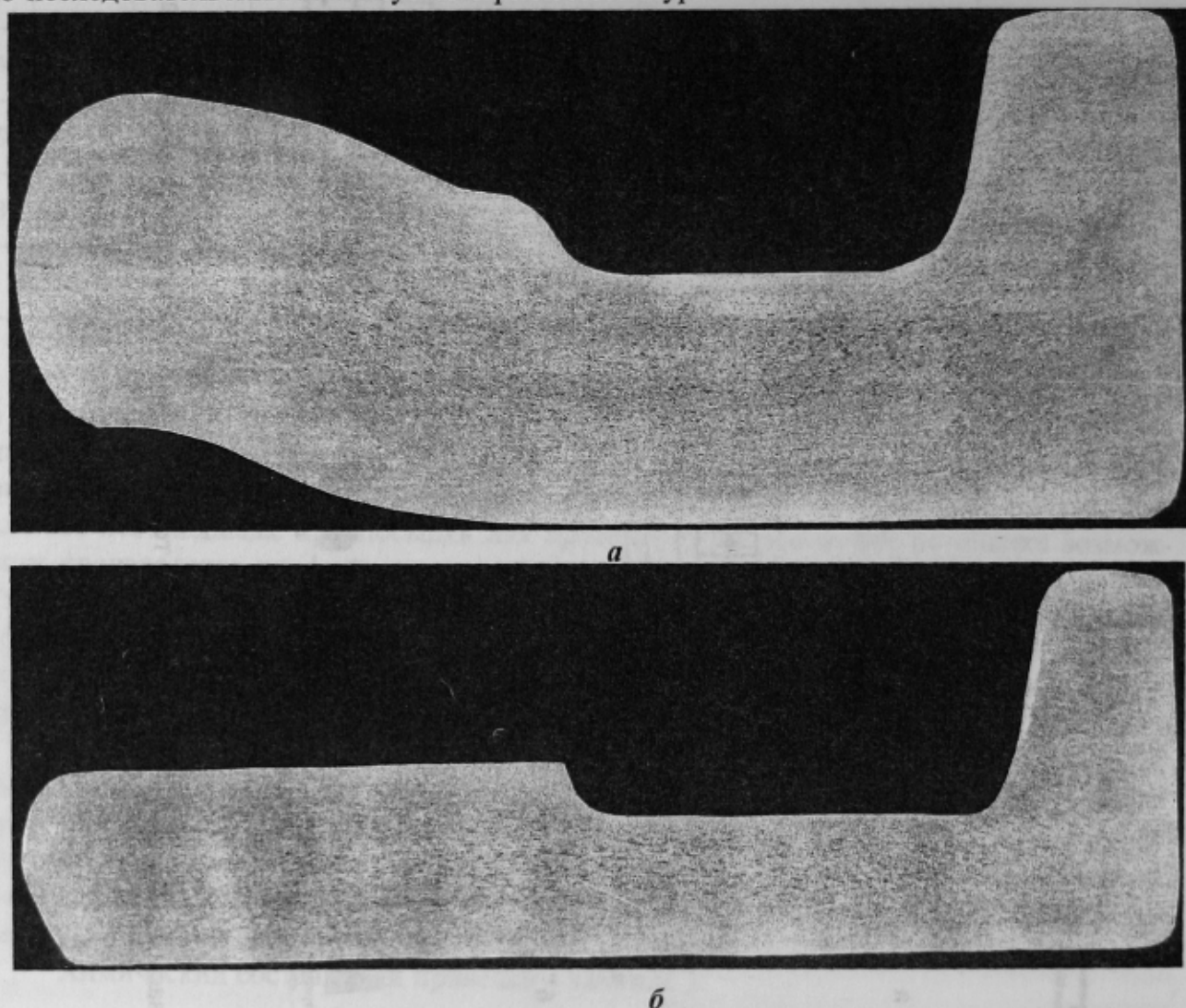
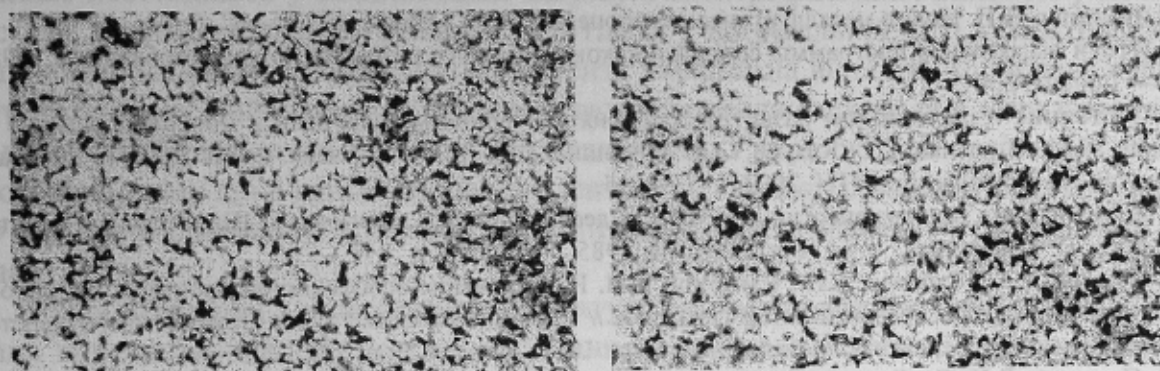


Рис. 2. Макроструктура профиля углового для реек подачи очистных комбайнов Н 170-У: *a* — промежуточный раскат, $\mu_{\Sigma} = 3,87$; *б* — готовый профиль, $\mu_{\Sigma} = 6,1$

Установлено, что, несмотря на сложную форму готового проката (рис. 2, б), распределение серы носит равномерный характер по всему сечению. Такой же характер имеет и распределение кристаллизационных зон в промежуточных сечениях и готовом прокате (рис. 2, а, б). В частности, в готовом прокате толщина корковой зоны составляла 1,5–2,5 мм в зависимости от элемента профиля. Глубокое макротравление образцов, вырезанных из промежуточных сечений, показало, что их структура плотная и однородная. Однако в раскатах, получивших суммарную вытяжку меньше 6–7, наблюдаются отдельные растравы длиной 1–4 мм. С уменьшением вытяжки число раскатов возрастает.

Глубокое травление темплетов готового проката показало, что структура их также плотная и однородная. Наблюдаются поры, сосредоточенные в центральной части раската. Встречаются отдельные волосовины, выходящие в сечение на глубину 0,5 мм. Такая макроструктура готового проката позволяет сделать вывод о том, что величина суммарной вытяжки равная $\mu_{\Sigma}=6$ является достаточной для получения профиля Н 170-У из непрерывнолитой заготовки в соответствии со всеми требованиями технических условий. Результаты выполненных исследований макроструктуры профиля Н 170-У во многом схожи с результатами исследования профиля ПЗС-20 [11]. Следовательно, разработанная сквозная технологическая схема производства крупносортовых профилей ответственного назначения непрерывнолитого металла (схема Б, рис. 1) применительно к условиям стана 620 является наиболее оптимальной, так как гарантирует получение качественной макроструктуры проката даже для профилей с максимальной толщиной элементов.

На рис. 3 приведена микроструктура образцов, взятых из плоского элемента профиля для различных сечений.



a

б

Рис. 3. Микроструктура профиля в различных сечениях, $\times 100$: *a* — промежуточный раскат, $\mu_{\Sigma} = 3,87$; *б* — готовый профиль, $\mu_{\Sigma} = 6,1$

Видно, что в готовом изделии сталь имеет типичную ферритно-перлитную структуру, характерную для углеродистой конструкционной горячекатанной стали после обычного охлаждения на воздухе от температуры конца прокатки. Следует подчеркнуть, что сталь по всему сечению образца имеет дисперсную структуру с равномерным распределением перлитных колоний. Структура поверхностной зоны не сильно отличается от центральной, на поверхности образцов структура однородная с зерном 8-9 балла. Редко наблюдаются участки с зёрнами 7 балла. Количество структурных составляющих, которое определяли по ДСТ 5639-82, составило — феррита 33%, а перлита 67%. Ближе к центральной части образца выявлено незначительное увеличение зерна, размер которого соответствует 8 баллу. Присутствуют участки 6-7 балла. Количество перлита и феррита практически не изменилось и составило соответственно 31% и 69%. В структуре исследуемой стали выявлена ферритная полосчатость 1 балла (ДСТ 1778-70), которая ориентирована в направлении деформации без четко выраженных полосок. Диаметр зерна также изменялся в пределах 11-15 мкм. Аналогичные закономерности выявлены и на промежуточных раскатах.

Проведенные исследования уровня механических свойств в готовом прокате показали, что они полностью отвечают требованиям ТУ 14-2-549-83 и составляют:

— временное сопротивление	σ_b	— 515...550 Н/мм ² ;
— предел текучести	σ_T	— 330...365 Н/мм ² ;
— относительное удлинение	δ_5	— 27...30%;
— твердость	НВ	— 180...190;
— относительное сужение	ψ	— 50%.

В результаті виконаних досліджень можна зробити висновок про те, що розроблена сквозна технологічна схема виробництва крупносортових профілів відповідного призначення з неперервнолитого металу (рис. 1, схема Б) застосована до умов стану 620 є найбільш оптимальною, так як гарантує отримання якісної макроструктури прокату навіть для профілів з максимальною товщиною елементів 20...28 мм.

Список літератури

1. **Лякишев Н.П.** Деякі проблеми сучасного сталеплавильного процесу // *Сталь*, 1996. — № 9. — С. 1–6.
2. **Лякишев Н.П., Николаев А.В.** Енергетичні аспекти металургії сталі // *Сталь*, 2002. — № 3. — С. 67–73.
3. **Суплин Л.** Проблеми моніторингу споживання чорних металів в Україні // *Металл-кур'єр*, спецвипуск "Металлопотребление", 2002. — травень (29). — С. 30–35.
4. **Булгаков Е.** Стан і перспективи споживання металу в Україні // *Металл-кур'єр*, спецвипуск "Металлопотребление", 2002. — травень (29). — С. 14–16.
5. **Лякишев Н.П.** Нові металургічні процеси. — М.: Наука, 1991. — С. 5–17.
6. **Ітоги виконання програми соціально-економічного розвитку Донецької області в 1998–2000 рр.** — Донецьк, 2001.
7. **Стан і перспективи розвитку підприємств чорної металургії в Донецькому регіоні** / С.В. Кольцов, І.М. Мищенко, Г.С. Клягин, О.В. Мирошніченко // *Збірник наук. праць ДонНТУ "Металургія"*. Вип. 40. — Донецьк: ДонНТУ, 2002. — С. 8–15.
8. **Оптимізація витрат енергії в процесах деформації** / А. Хензель, Т. Шпиттель, М. Шпиттель, М. Гайдук, Й. Конвичний. — М.: Металургія, 1985. — 184 с.
9. **Минаев А.А., Лубенец А.Н., Смирнов Е.Н.** Дослідження особливостей виробництва полобильових профілів з неперервнолитих заготовок // *Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Металургія*. Вип. 18. — Донецьк, ДонГТУ. 2000. — С. 6–17.
10. **Смирнов Е.Н.** Властивості та структура заготовок з неперервно-литого металу для виробництва прокату відповідного призначення // *Металл і лиття України*, 2001. — № 3–4. — С. 17–20.
11. **К вопросу производства деталей замка арочной крепи из неперервнолитого металла** / Е.Н.Смирнов, А.Н.Лубенец, И.В.Лейрих и др. // *Металургічна і горнорудна промисловість*, 2002. — № 10. — С. 81–85.

© Смирнов Е.Н., Лейрих И.В., Григорьев М.В., Щербачев В.В., 2003

НОВІКОВА О.В., КУРБАТОВ Ю.Л. (ДОННТУ)

ОКИСЛЮВАННЯ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ У СЕРЕДОВИЩІ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОГО ВПЛИВУ

Виконані експериментальні дослідження окислювання сталевих зразків в атмосфері продуктів згоряння природного газу при електрофізичному впливі. Показано зниження угару металу на 20%. Отримано константи окалиноутворення для розрахунку товщини окалини.

Енергосбереження та ресурсосбереження — важливіші науково-практичні задачі у промисловості, зокрема чорної металургії та машинобудуванні. Тому зменшення угару металу з метою зниження його втрат та поліпшення якості кінцевого продукту є однією з актуальних проблем протягом довгого часу. Засоби боротьби з угаром металу при його нагріванні [1] — застосування спеціальних обмазок, відновлювальних атмосфер, захисних середовищ, швидкісного нагрівання і т.д. — не завжди можуть бути використані. Вплив електричного поля на окислювання сталі достатньо не вивчено [2].