

$$\Lambda_p = \chi \exp \left[\lambda \frac{\sigma}{T} \right]; \quad \omega = \int_0^{\Lambda_1} \frac{a \Lambda^{a-1}}{\Lambda_p^a} d\Lambda.$$

Важно заметить, что для процесса получения ультрамелкозернистой структуры в металле нельзя допустить даже микроразрушения ($\omega \approx 0,25$), не говоря уже о макроразрушении ($\omega = 1$). Для этого необходимо воспользоваться критерием поврежденности материала $\omega < \omega^* = 0,25$, при котором при рекристаллизации после пластической деформации РКУП полностью происходит «залечивание» микропор и микротрещин в металле без потери механических и технологических свойств.

Процесс равноканального углового прессования не только очень удобен для изучения свойств материала при интенсивной пластической деформации, но и при специально подобранных характеристиках и условиях процесса позволяет достичь неограниченной пластичности исследуемого материала (см. рис. 2).

Выводы. Приведена механика деформирования материала при равноканальном угловом прессовании, показаны и описаны напряженное и деформированное состояние материала. Особенностью такого процесса является деформация простым сдвигом.

Исследовано разрушение материала при РКУП, характер накопления поврежденности в процессе пластической деформации. Сформулированы критерии и предельные случаи, при которых возможен процесс РКУП без разрушения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сегал В.М., Резников В.И., Дробышевский А.Е., Копылов В.И. // Металлы. 1981. № 1. С. 115 – 123.
2. Богатов А.А. Механические свойства и методы разрушения металлов: Учеб. пособие для вузов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2002. – 329 с.
3. Бережной В.Л. // КИШП. ОМД. 2010. № 1. С. 7 – 14.

© 2012 г. А.А. Богатов, И.В. Леуца
Поступила 12 января 2011 г.

УДК 669.14

В.В. Аникеев, Н.Н. Зонненберг, В.И. Никитин

Самарский государственный технический университет

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОСТАВА И КАЧЕСТВА ШИХТЫ СО СВОЙСТВАМИ И РАСХОДОМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ПРИ ПЛАВКЕ СТАЛИ

В сталеплавильном производстве основными составляющими шихты являются черные и вторичные (покупной лом) металлы, а также возврат собственного производства (ВСП).

Известно, что состав и качество шихтовых материалов определяют структуру и свойства литого и деформированного металла, а также влияют на расход энергоносителей при плавке стали [1 – 3].

Если качество покупного лома регламентируется техническими условиями по ГОСТ 2787-75, то контроль качества ВСП (прибыли, литники, сливы, сплесы) не проводится.

Влияние состава шихты на качество отливок из стали 35Л, 35ГЛ, 12Х18Н9ТЛ и сортового проката из непрерывнолитых заготовок стали 35ГС оценивали по результатам механических испытаний на относительное удлинение δ , пределы прочности σ_b и текучести σ_t , ударную вязкость КСУ; на образование трещин и стойкость к межкристаллитной коррозии (сталь 12Х18Н9ТЛ).

Исследование влияния состава и качества шихты на расход энергоносителей (электроэнергия, кислород, природный газ, аргон) проводили при плавке стали 35ГС, 1сп, 5сп в дуговой сталеплавильной печи ДСП-120 (расплавление шихты) с последующей обработкой расплава на установке ковш-печь (УКП). Металл разливали

на машине непрерывного литья в заготовки сечением 125×125 мм, которые в дальнейшем прокатывали на сорт.

Сталь для изготовления отливок плавил в ДСП-1,5 (35Л, 35ГЛ) и в индукционной печи ИСТ-0,4 (12Х18Н9ТЛ). Отливки получали в песчано-глинистых формах, масса отливок 20 – 750 кг.

Варианты исследованных составов шихт представлены в табл. 1.

Характеристика лома по ГОСТ 2787-75 «Металлы черные, вторичные» приведена ниже:

Марка лома	Состав лома
2А	Кусковые лом и отходы, шихтовые слитки. Не допускаются проволока и изделия из проволоки
3А	Кусковые лом, отходы и стальной скрап, рулоны листового металла, двутавры, швеллера. Не допускаются проволока и изделия из проволоки
4А	Мелкие кусковые отходы и лом изделий метизного производства (болты, гайки и пр.). Не допускаются проволока и изделия из проволоки
8А	Пакеты высокой плотности из легковесных стальных отходов и лома. Допускается стружка. Не допускаются прессование эмалированного и оцинкованного металла

- 25А Проржавленные, подвергшиеся длительному температурному или кислотному воздействию, эмалированные и оцинкованные кусковые лом и отходы; зашлакованный скрап. Не допускается наличие лома и отходов цветных металлов
- Б26 Лом и отходы коррозионностойких сталей, легированных хромом (17 – 20 %), никелем (8 – 13 %) в сочетании с кремнием, марганцем и титаном до 4, 2 и 1,2 % соответственно

Механические свойства отливок и сортового проката из непрерывнолитых заготовок в зависимости от составов шихт (см. табл. 1) приведены на рис. 1.

Результаты исследований показывают, что увеличение доли покупного лома в шихте приводит к последовательному повышению показателей механических свойств отливок относительно требований ГОСТ 977-88 «Отливки стальные», а для проката из стали 35ГС (плавка на ломе марки 3А) – относительно требований ГОСТ 5181-82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций».

Влияние состава шихты на показатели механических свойств отливок и проката оценивали также в соответствии с методикой исследования явления структурной наследственности [4] с помощью коэффициента наследственности

$$K_n = A_1 / A_0,$$

где A_1 – свойства стали, полученной из шихт различного состава; A_0 – требуемые свойства стали согласно ГОСТ 977-88, 5181-82.

Значения коэффициента наследственности механических свойств отливок и проката в зависимости от составов шихт приведены в табл. 2.

Из данных табл. 2 следует, что с повышением доли покупного лома в шихте (варианты 1→2→3) при производстве отливок механические свойства возрастают на 20 – 50 % (δ), 10 – 15 % (σ_T) и 10 – 80 % (КСУ).

Значительное повышение механических свойств наблюдается при использовании в качестве шихты 100 % покупного лома (вариант 3 шихты). Это объясняется тем, что деформируемая шихта (покупной лом) имеет мелкокристаллическую структуру, менее загрязненную вредными примесями фосфором и серой и неметаллическими включениями. ВСП загрязнен остатками формовочной смеси; содержание серы и фосфора (0,02 и 0,04 % соответственно) в нем выше, чем в покупном ломе и механические свойства повышаются не столь значительно.

При производстве проката повышение показателей σ_B и σ_T составляет 15 и 11 % соответственно, δ – 64 %, что особенно важно при производстве проката.

Использование в составе шихты ВСП при производстве отливок приводит к повышенному загрязнению расплава неметаллическими включениями и, как следствие, образованию трещин в отливках, а также развитию межкристаллитной коррозии в отливках из коррозионностойких сталей [2].

Микроскопические исследования и изучение изломов из зоны разрушения отливок выявили межкристаллический характер образования трещин. Причина их образования – значительная загрязненность границ кристаллов неметаллическими включениями (сульфи-

Таблица 1

Составы исследованных шихт

Марка стали	Вариант 1, %			Число плавков	Вариант 2, %			Число плавков	Вариант 3, %			Число плавков
	Лом 2А, 4А, 8А	ВСП	др.		Лом 2А, 4А, 8А	ВСП	др.		Лом 2А, 4А, 8А	ВСП	др.	
35Л	0	100		68	50	50		45	100	0		43
35ГЛ	0	100		46	50	50		60	100	0		47
	Лом Б26	ВСП			Лом Б26	ВСП			Лом Б26	ВСП		
12Х18Н9ТЛ	0	100		88	50	50		128	100	0		72
	Лом 3А	Лом 8А	Чугун перед.		Лом 3А	Лом 8А	Чугун перед.		Лом 3А	Лом 8А	Чугун перед.	
35ГС	74,3	14,2	11,5	43	85,4	14,6	–	44	100	–	–	13
	Лом 3А	Лом 8А	Лом 25А		Лом 3А	Лом 8А	Лом 25А		–	–	–	
1сп	72,8	14,9	12,3	10	85,1	14,9	–	62	–	–	–	–
	Лом 3А	Лом 8А	Лом 25А		Лом 3А	Лом 8А	Лом 25А		Лом 3А	Лом 8А	Лом 25А	
5сп	77,5	13,8	8,7	21	85,8	14,2	–	50	100	–	–	25

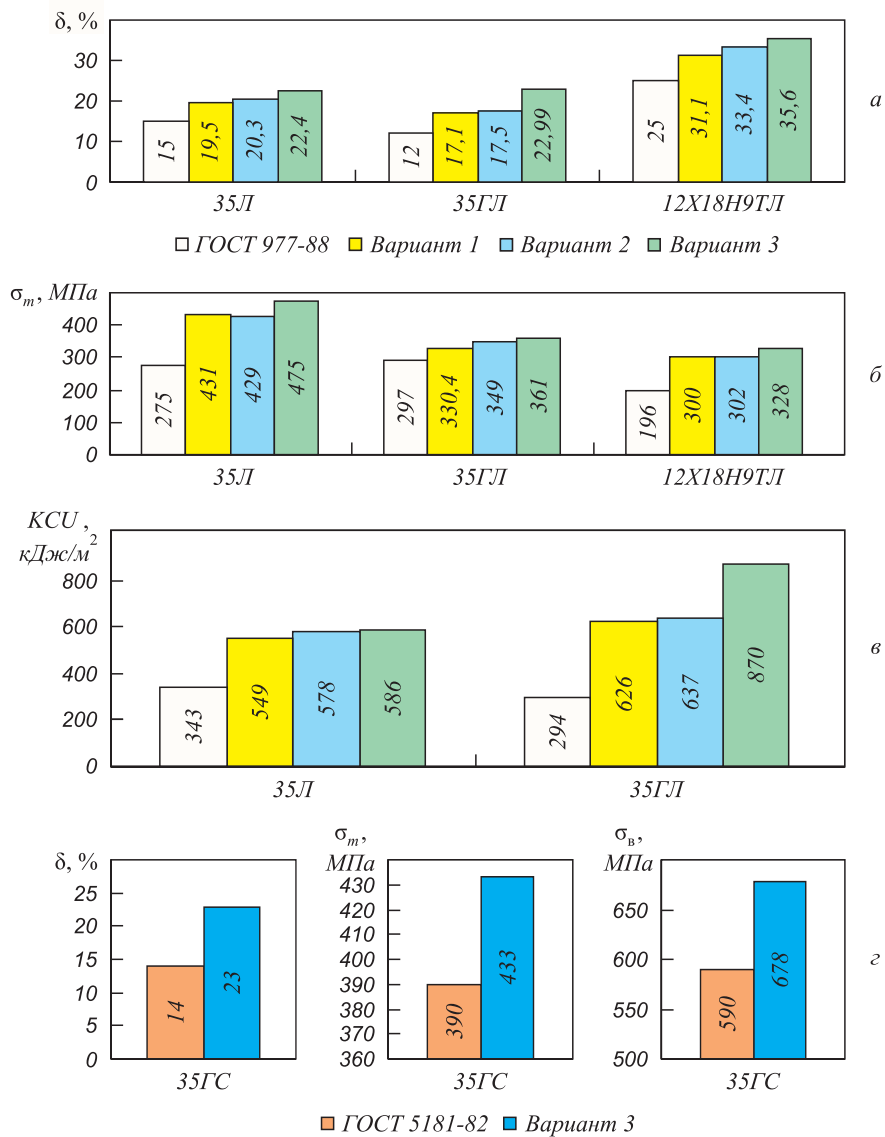


Рис. 1. Механические свойства отливок и сортового проката в зависимости от составов шихт (варианты 1 – 3): а, б, в – отливки; г – сортовой прокат

Таблица 2

Коэффициент наследственности механических свойств в зависимости от составов шихт

Марка стали	Вид изделия	Варианты шихты	Коэффициент наследственности			
			K_{δ}	$K_{\delta_{\text{в}}}$	$K_{\delta_{\text{т}}}$	$K_{\text{КСУ}}$
35Л	отливки	1	1,30	–	1,56	1,60
		2	1,35	–	1,57	1,68
		3	1,49	–	1,72	1,70
35ГЛ	отливки	1	1,42	–	1,12	2,13
		2	1,45	–	1,18	2,16
		3	1,90	–	1,22	2,96
12Х18Н9ТЛ	отливки	1	1,24	–	1,53	–
		2	1,33	–	1,54	–
		3	1,42	–	1,67	–
35ГС	прокат	3	1,64	1,15	1,11	–

дами, оксисульфидами, оксидами) и повышенное содержание серы и фосфора в стали. Включения больших размеров и различной формы, которые располагаются, в основном, по границам зерен и дендритов в виде строчек и различных грубых скоплений, сопровождающихся «рыхлотами» и «несплошностями». Они являются концентраторами напряжений, ослабляют границы зерен и повышают склонность металлов к охрупчиванию. Излом образцов в литом состоянии – грубокристаллический, с грубыми сколами и резко очерченными гранями; проходит по границам зерен, камневидный.

Неметаллические включения в зоне «здорового» металла (без трещин) идентичны включениям в отливках с трещинами, но, в основном, мелкие, округлой, каплевидной и вытянутой формы, равномерно распределены по всему сечению шлифов. Излом образцов мелкокристаллический, с отдельно встречающимися фрагментами слабо выраженной камневидности.

Исследование изломов из зоны разрушения отливок показало, что определяющий фактор образования трещин – загрязненность шихты с повышенным содержанием доли ВСП.

На рис. 2 приведены результаты микроскопических исследований образцов отливок из стали 35Л, 12Х18Н9ТЛ и результаты испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК) (сталь 12Х18Н9ТЛ) с использованием в составе шихты ВСП.

На нетравленых микрошлифах из образцов отливки «Клапанная коробка» (масса отливки 404 кг, сталь 35Л) в зоне трещины выявлены крупные поры и скопление неметаллических включений (рис. 2, а). Наблюдается обезуглероженная зона, обогащенная легкоплавкими структурными составляющими.

На рисунке 2, б приведена микроструктура травленого шлифа из образца отливки «Корпус уплотнителя» (масса отливки 49 кг, сталь 12Х18Н9ТЛ) со 100 % ВСП.

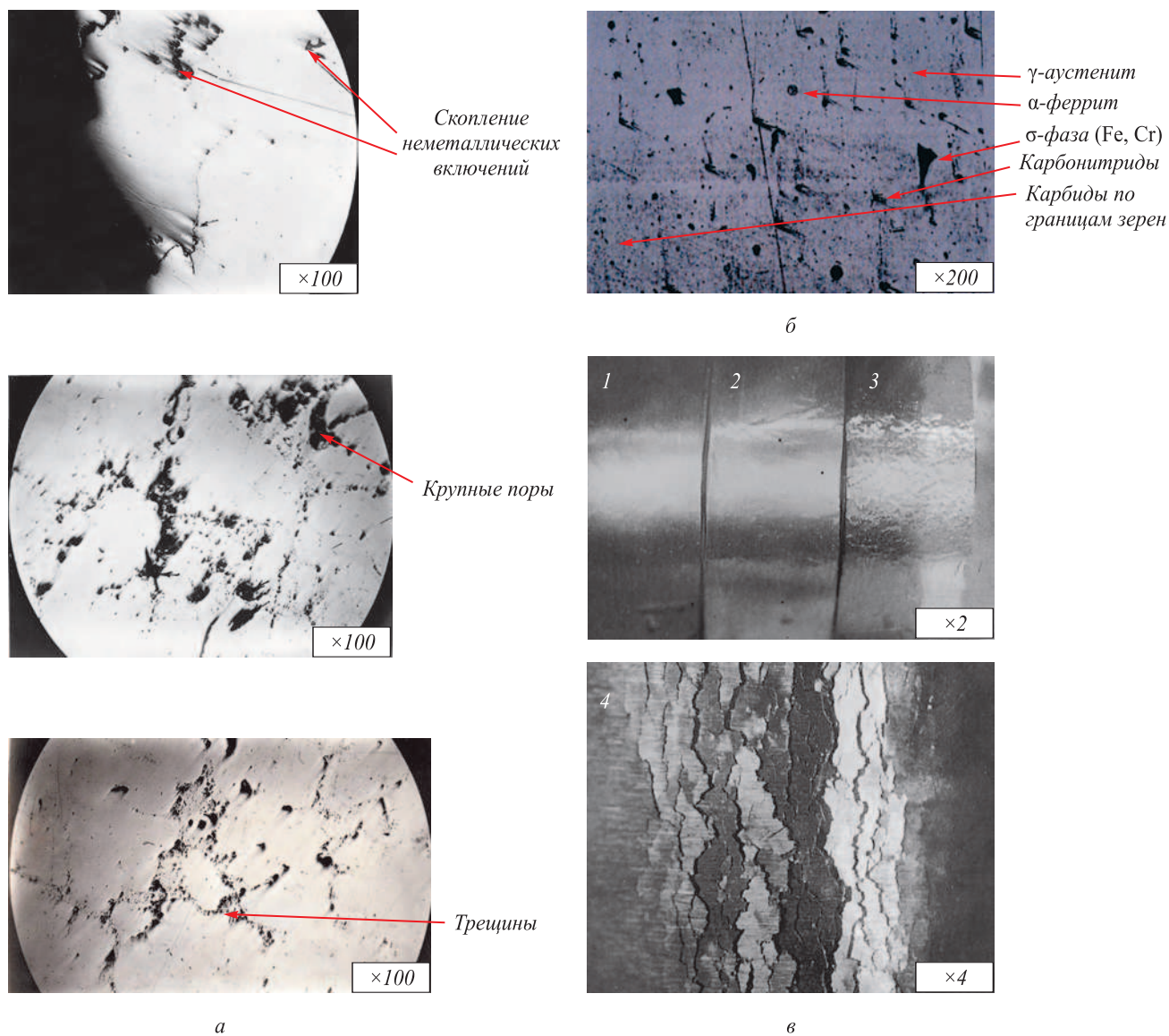


Рис. 2. Микроструктура образцов отливок:
а – сталь 35Л; б – сталь 12Х18Н9ТЛ и результаты испытаний на МКК (сталь 12Х18Н9ТЛ) (в)

Анализ микроструктуры образцов свидетельствует, что они состоят из аустенита, небольшого количества феррита и σ -фазы (Fe, Cr) с включениями отдельных карбидов и карбонитридов. Образование σ -фазы сопровождается уменьшением объема, вследствие чего σ -фаза и карбиды, выделившиеся по границам зерен, создают напряжения в приграничных участках аустенит – σ -фаза, приводящие к хрупкому разрушению границ зерен и образованию холодных межкристаллических трещин.

Образцы отливки «Корпус уплотнителя» также испытывали на стойкость против межкристаллитной коррозии. Склонность стали к МКК вызвана карбидными включениями, расположенными по границам зерен. Пограничное выделение карбидов хрома приводит к обеднению границ зерен хромом. В результате содержание хрома в пограничном слое зерна уменьшается и этот слой теряет способность к пассивации, подвергаясь быстрой коррозии. Образцы пластин после испытания на склонность против МКК приведены на рис. 2, в (1, 2 – не склонные к МКК; 3 – склонный к МКК; 4 – разрушение стали по границам зерен).

Влияние качества и состава шихты на расход энергоносителей исследовали при расплавлении шихты в

ДСП-120 (электроэнергия, кислород и природный газ) и при обработке металла на У КП (электроэнергия, аргон) [3].

Данные по расходу энергоносителей на ДСП и У КП приведены на рис. 3.

Анализ полученных результатов показывает, что минимальным по расходу энергоносителей на ДСП и У КП для стали 35ГС является третий вариант состава шихты: расход электроэнергии (суммарный на ДСП и У КП) снижается на 4,5 и 4 %, кислорода – на 1 и 2, аргона – на 5 и 6 % в сравнении с вариантами составов шихт 1 и 2 при перерасходе природного газа на 6 и 1 % соответственно. Наибольший перерасход электроэнергии наблюдается на У КП: 25 и 10,5 % на шихте составов по вариантам 1 и 2.

Минимальным по расходу энергоносителей для стали 1сп, 5сп является второй вариант состава шихты.

Для стали 1сп суммарный расход электроэнергии снижается на 2,3 %, кислорода – на 0,5 %, природного газа – на 3 %, аргона – на 7 % в сравнении с вариантом состава шихты 1.

Для стали 5сп расход электроэнергии снижается на 2,5 % и 0,5 %, кислорода – на 2,5 %, природного газа – на 1,5 % и 4,5 %, аргона – на 5 % в сравнении с вариантами составов шихт 1 и 3.

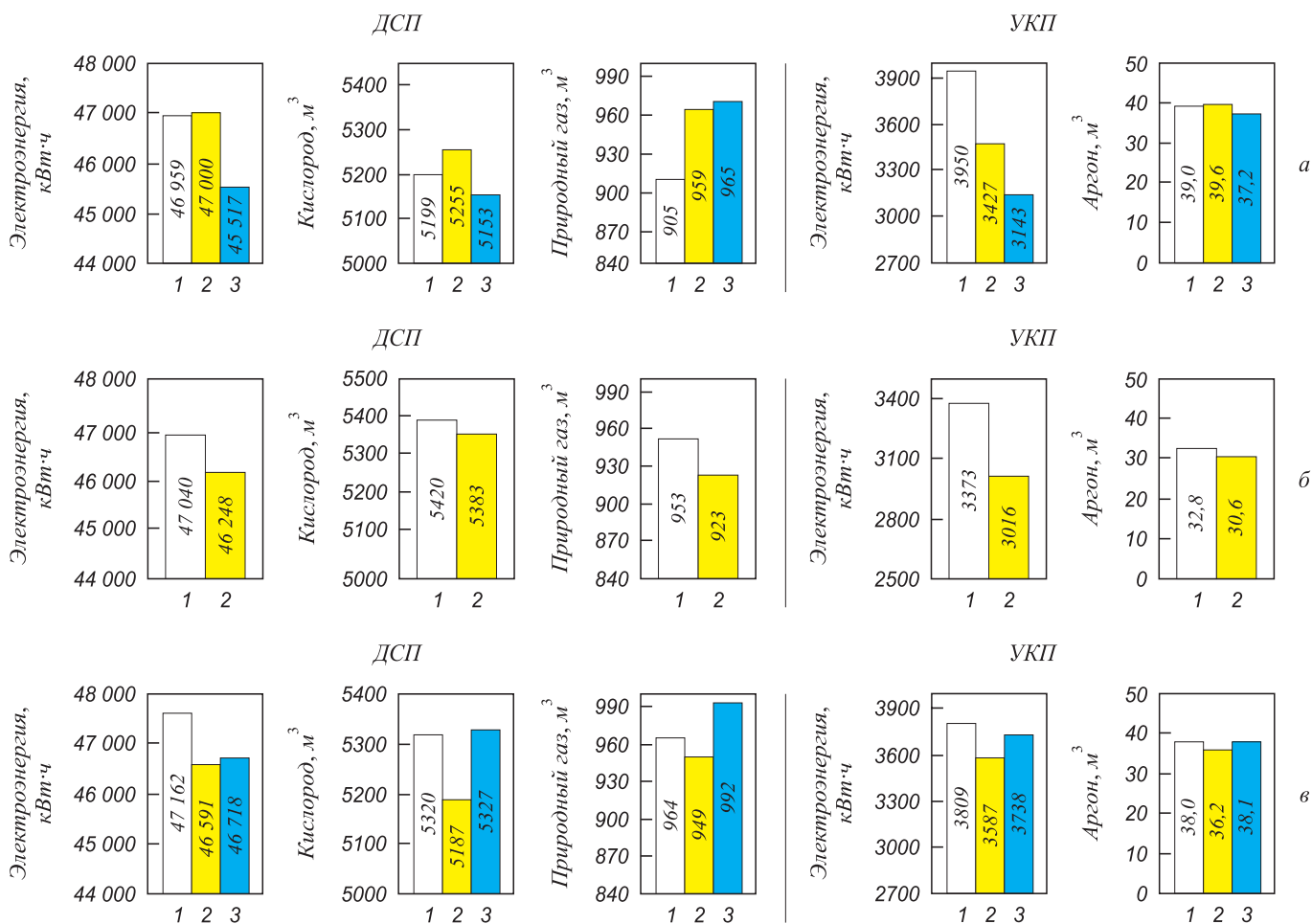


Рис. 3. Расход энергоносителей на ДСП и У КП в зависимости от составов шихт (варианты 1 – 3): а – сталь 35ГС; б – сталь 1сп; в – сталь 5сп

Наибольший перерасход электроэнергии, как при плавке стали 35ГС, наблюдается на УКП: для стали 1сп – 12 %, для стали 5сп – 6 и 4 % на шихте составов по вариантам 1 и 3.

Выбор оптимального состава шихты в значительной степени сказывается на экономии электроэнергии: снижение расхода в среднем на плавку составляет 2000 – 2200 кВт·ч на стали 35ГС и 300 – 1100 кВт·ч на сталях 1сп, 5сп. За счет этого снижается себестоимость жидкой стали.

Наиболее энергоемкими для плавки стали 35ГС, 1сп, 5сп являются составы шихт по варианту 1.

Выводы. Качество и состав шихтовых материалов определяют структуру и свойства отливок, проката и расход энергоносителей при плавке стали.

Увеличение доли деформированной шихты (покупного лома) с мелкокристаллической структурой приводит к повышению уровня механических свойств отливок, снижению вероятности образования трещин и возрастанию стойкости коррозионностойкой стали к

межкристаллитной коррозии. Качество и состав шихты значительно влияют на расход электроэнергии при плавке стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анিকেев В.В., Зонненберг Н.Н., Осипов Н.В. // Тр. VII международного научно-технического симпозиума «Наследственность в литейных процессах» – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. С. 145 – 149.
2. Анিকেев В.В., Зонненберг Н.Н. // Литейное производство. 2010. № 6. С. 2 – 6.
3. Анিকেев В.В., Никитин В.И., Пигачев Б.А. и др. // Тр. VII международного научно-технического симпозиума «Наследственность в литейных процессах» – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. С. 257 – 259.
4. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах. – Изд. 2-е доп. и перераб. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 476 с.

© 2012 г. В.В. Анিকেев, Н.Н. Зонненберг,
В.И. Никитин

Поступила 10 октября 2011 г.

УДК 621.774.2

*С.В. Самусев¹, А.И. Романцов², К.Л. Жигунов²,
А.В. Люскин¹, М.С. Сигида²*

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

² ОАО «Челябинский трубопрокатный завод»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОМКИ НА УЧАСТКЕ КРОМКОГИБОЧНОГО ПРЕССА В ЛИНИИ ТЭСА-1420 В УСЛОВИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОГО ТРУБОПРОКАТНОГО ЗАВОДА

Процесс подгибки кромок листа является неотъемлемой частью технологического процесса пошаговой формовки при производстве электросварных труб большого диаметра и обеспечивает заданную геометрию кромок трубной заготовки. Процесс выполняется методом формовки листа на специальном оборудовании – кромкогибочном прессе (КГП). Подгибка производится по контуру специального инструмента. Поскольку длина инструмента меньше длины подгибаемых листов, про-

цесс производится за несколько шагов (длиной 4500 мм) с одновременной подгибкой обеих кромок листа.

После позиционирования трубной заготовки (ТЗ) (рис. 1, а) производится подъем зажимных и гибочных балок. Подъем ТЗ продолжается до тех пор, пока зажимная балка не подведет ТЗ к верхней прижимной неподвижной балке (рис. 1, б). Далее, зажимные цилиндры создают необходимое для зажатия усилие, а гибочные балки производят отгибание ТЗ нижним инструмен-

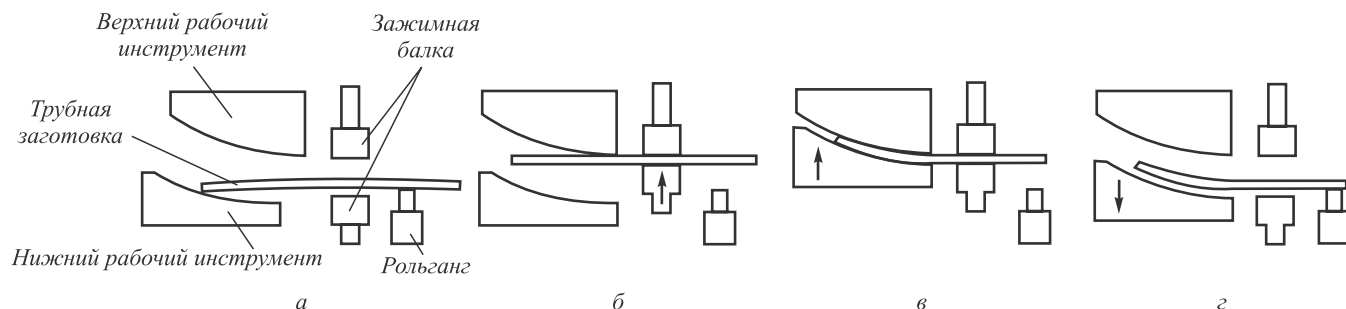


Рис. 1. Этапы формовки ТЗ