



The article is dedicated to carrying out of investigations on creation of new structures of die steels for stabilization of instrument for cold forming operation of metals and alloys.

В. Н. ФЕДУЛОВ, БНТУ

УДК 669.21

ВЫБОР ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ НОВЫХ МАРК ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЛЯ ШТАМПОВ ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Дальнейшее повышение стойкости инструмента холодного деформирования должно развиваться на базе создания новых составов инструментальных сталей и разработки режимов их термического упрочнения [1].

Целью настоящей работы является проведение исследований по созданию новых химических составов штамповых сталей для повышения стойкости инструмента холодной обработки металлов и сплавов.

Методической основой исследования является использование в качестве прототипов известных инструментальных сталей и добавление в их состав или корректировка содержания необходимых элементов для повышения стойкости конкретного инструмента. В исследовании шли по пути разработки мало- и среднелегированных сталей, основой высокой стойкости которых могло бы быть создание в результате термического упрочнения структуры, состоящей из сильнолегированного мартенсита отпуска и равномерно распределенных в пределах зерна высокотвердых дисперсных включений [1]. Количество вводимых элементов должно было способствовать дополнительному упрочнению компонентов структуры, но без значительного уменьшения ударной вязкости [2].

Выплавку образцов сталей производили с помощью печи плавильной ИСВ 0.00.4 по известной технологии. В качестве исходной шихты применяли мелкую высежку листов из стали 08 сп с легированием расплава стали ферросплавами и графитом. Разливку стали производили в кристаллизаторы диаметром 60 мм. После этого литые заготовки отжигали при температуре 860 °С по известной технологии. Отожженные заготовки механически

обрабатывали до размера диаметром 50×100 мм и подвергали упрочняющей термической обработке. На оставшихся темплетях стали осуществляли проверку химических составов с использованием спектрометров. По известным методикам во всех исследованиях выполняли замер твердости на поверхности исследуемых заготовок с предварительной шлифовкой на 1 мм с двух сторон после упрочнения в каждом конкретном случае и ударной вязкости – на образцах размерами 10×10×55 мм, изготовленных впоследствии из проверенных на твердость заготовок.

Наиболее известной и самой применяемой в инструментальном производстве является штамповая сталь У8А. Однако данная сталь имеет низкую износостойкость при работе штампов с разогревом рабочей поверхности выше 250 °С из-за смятия и выкрашивания гравюры и невозможности многократного перетачивания при эксплуатации. Необходимы малолегированные штамповые стали на основе углеродистой стали У8А с несколькими легирующими элементами для повышения их технологичности, прокаливаемости и воспроизводимости механических свойств. Задачей здесь является значительное повышение твердости при закалке в масло и теплостойкости стали при одновременном сохранении ударной вязкости в допустимых пределах, т. е. комплексное легирование углеродистой стали малыми добавками, позволяющее после термического упрочнения получать структуру легированного мелкодисперсного и теплоустойчивого мартенсита отпуска по типу стали 78ГМФС [3–5] и при этом избегать проведения сложной схемы закалки инструмента «через воду в масло».

В табл. 1 приведены результаты выплавки апробированных сталей при проведении исследования, а в табл. 2 – результаты испытаний всех этих сталей в той же последовательности.

Таблица 1. Химический состав исследуемых сталей

Номер стали	Содержание легирующих элементов, мас. %				
	C	Si	Mn	Mo	Fe
1	0,76	0,19	0,30	–	98,75
2	0,81	0,19	0,56	0,30	98,14
3	0,76	0,78	0,60	1,00	96,86
4	0,85	0,50	0,75	0,68	97,22
5	0,81	0,90	0,83	0,50	96,96

Таблица 2. Механические свойства сталей в заготовках диаметром 50×100 мм после термического упрочнения (закалка с выдержкой при нагреве 1 ч, охлаждение в масле + отпуск)

Номер стали	Значения механических свойств			
	после отпуска 180 °С, 2 ч		дополнительный отпуск 250 °С, 2 ч	
	твёрдость HRC	KCU, МДж/м ²	твёрдость HRC	примечание
1	33–34	6,5–7,0	29–31	Закалка с нагревом при 780 °С
2	40–42	4,5–5,0	38–39	Закалка с нагревом при 850 °С
3	60–62	3,0–3,8	56–59	То же
4	59–61	3,0–3,8	56–58	»
5	59–60	3,2–4,0	55–58	»

Увеличение в составе стали молибдена, марганца и кремния (по сравнению со сталью № 2 [5]) способствует получению после закалки в масле и низкого отпуска инструмента с требуемой структурой стали. Закалка с температурой нагрева 850 °С (выдержка 1,5 ч) и охлаждением в масле позволяет получить в структуре новой стали (№ 3–5) мартенсит (на поверхности на глубину до 6 мм и более) и троостит (на значительно большую глубину). Эти структурные составляющие легированы молибденом, марганцем и кремнием и имеют большую твердость после закалки, чем у стали У8А (№ 1) или 78ГМС (№ 2), когда уже на глубине 1 мм в структуре образуется перлит. Низкий отпуск при температуре 180 °С в течение 2 ч сохраняет в структуре нового состава стали, легированные мартенсит и троостит отпуска, лишь снижая уровень растягивающих напряжений. Сохраняются также высокий комплекс механических свойств и возможность многократного перетачивания режущих кромок штампов или инструмента. При температуре отпуска 250 °С в течение 2 ч структура стали нового состава также обеспечивает высокий уровень механических свойств, что необходи-

мо для учета разогрева режущих кромок вырубного штампа или другого инструмента при вырубке заготовок.

Итогом создания нового состава инструментальной стали (объединение № 3–5) [6] явилось значительное повышение ее твердости и теплоустойчивости и сохранение ударной вязкости, а, следовательно, и износостойкости. В результате термического упрочнения обеспечиваются на требуемом уровне механические и эксплуатационные свойства, что и позволяет рекомендовать разработанную сталь для изготовления штампов и инструмента холодной обработки металлов и сплавов, разогревающихся в местах вырубке заготовки в процессе эксплуатации до 250–300 °С.

Другой задачей при производстве технологической оснастки для холодной обработки металлов является использование возможности выплавки инструментальных сталей на базе переработки имеющегося в наличии на предприятии лома. В республике в большом количестве имеется лом в виде отработанного инструмента из стали Р6М5. В качестве вспомогательного материала в этом инструменте конструктивно предусмотрено использование также стали 45. Собранный лом зачастую сдается неразделенным в перерабатывающие предприятия и весьма дешево. В то же время раньше на производстве широко применялась для рубки круглого и квадратного проката инструментальная сталь 5ХВ2С, которая в настоящее время используется в значительно меньшем количестве из-за ее высокой цены. Ранее была разработана также сталь 5ХВ2МФС [7], но она совсем не применялась по причине отсутствия ее промышленного выпуска. Однако эта сталь имеет более высокие свойства, чем сталь 5ХВ2С. Обе эти стали выплавить, например, методом электрошлакового литья в условиях машиностроительного предприятия весьма затруднительно из-за отсутствия лома требуемого состава.

Задачей, решаемой в следующем исследовании, являлось создание стали, которую можно выплавить из неразделенного лома сталей Р6М5 (20%) и 45 (80%). Она должна превосходить по свойствам обе вышеупомянутые стали. Решения достигли тем, что в составе стали 5ХВ2МФС (№ 1, табл. 3) увеличили количество молибдена и ванадия, скорректировали содержание углерода, кремния и марганца, но несколько сократили содержание вольфрама. Получили сталь типа 6ХГСВМФ.

В табл. 3 приведены результаты выплавки апробированных сталей при проведении исследований, а в табл. 4 – их механические свойства в заготовках диаметром 50×100 мм после термическо-

го упрочнения: закалка с нагревом при 950 °С, выдержка 1 ч, охлаждение в масле + отпуск образцов всех этих сталей.

Т а б л и ц а 3. Опытный состав сталей для ножей рубки стального проката

Номер стали	Содержание легирующих элементов, мас. %							
	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Fe
1	0,55	0,65	0,53	1,06	2,2	0,4	0,15	94,46
2	0,60	0,60	0,50	0,60	1,6	1,0	0,3	94,80
3	0,64	0,73	0,64	1,1	1,8	0,8	0,38	93,91
4	0,70	0,9	0,80	1,5	1,1	1,2	0,5	93,30

Т а б л и ц а 4. Механические свойства опытных сталей для ножей

Номер стали	Значение механических свойств после отпуска 250°С, 3 ч	
	твёрдость HRC (замер твёрдости на поверхности)	ударная вязкость KCU, МДж/м ²
1	53–54	0,38–0,40
2	56–57	0,40–0,48
3	56–57	0,38–0,46
4	57–58	0,38–0,44

Из таблиц видно, что легирование стали [7] дополнительным количеством углерода, кремния, марганца, молибдена и ванадия при снижении содержания дорогостоящего вольфрама позволило повысить твердость при высокой ударной вязкости, следовательно, удалось повысить износостойкость стали нового состава и использовать ее для изготовления инструмента при рубке различного стального проката. Проведенная корректировка химического состава инструментальной стали способствует получению после закалки и отпуска инструмента с требуемой структурой, обеспечивающей выигрыш в стойкости. Закалка с температурой нагрева 950 °С (выдержка в течение 1,5 ч) и охлаждением в масле позволяет получить в поверхностном слое стали мелкозернистую структуру (заслуга присутствия ванадия), состоящую на достаточной глубине из тонкодисперсного теплостойкого мартенсита (заслуга легирования в нужных пропорциях стали хромом, кремнием, вольфрамом, молибденом и ванадием) и равномерно распределенных износостойких первичных карбидов типа MC, легированных хромом, вольфрамом, молибденом и ванадием, а также до 10% остаточного аустенита (за счет повышения содержания марганца). Молибден при закалке одновременно устраняет выделение охрупчивающих структуру вторичных карбидов по границам зерен и способствует дополнительному легированию мартенсита хромом. Отпуск в течение 3 ч при 250 °С стабилизирует структуру и сохраняет высокую твердость, теплостой-

кость и ударную вязкость за счет присутствия износостойких первичных карбидов, остаточного аустенита и теплостойкого высоколегированного мартенсита отпуска. Итогом создания нового состава инструментальной стали явилось повышение стойкости инструмента для рубки стального сортового проката за счет повышения твердости стали при одновременном сохранении ударной вязкости на необходимом уровне. Сталь, как уже отмечалось, можно выплавлять из смеси лома Р6М5 (20%) и стали 45 (80%), проведя корректировку по небольшому увеличению содержания углерода, кремния и марганца и не изменяя содержание основных легирующих элементов.

Следующее исследование также базируется на переплаве стального лома сталей Р6М5 (10%) и 45 (90%): получение стали 7ХГСВМФ. Для сравнения была выбрана инструментальная сталь ХВСГ [8] (№ 1, табл. 5). Указанная сталь после закалки в масле с 870 °С и отпуска при 180 °С имеет недостаточную ударную вязкость, что приводит к выкрашиванию рабочих кромок режущих частей штампов при холодной вырубке изделий из листового проката легированной стали. Задачей исследования являлось повышение ударной вязкости с целью увеличения стойкости габаритного инструмента в сложных условиях эксплуатации. Решение задачи достигнуто введением в состав стали дополнительно молибдена в количестве 0,3–0,6% при корректировке содержания остальных компонентов состава.

В табл. 5 приведены результаты выплавки опытных сталей при проведении исследований, в табл. 6 (для всех сталей в той же последовательности) – значения механических свойств заготовок диаметром 50×100 мм из этих сталей после термического упрочнения: закалка с нагревом при 950 °С, выдержка 1 ч, охлаждение в масле + отпуск.

Т а б л и ц а 5. Химический состав опытных сталей

Номер стали	Содержание легирующих элементов, мас. %							
	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Fe
1	0,95	0,65	0,65	1,0	0,7	—	0,1	95,95
2	0,70	0,80	0,65	0,8	0,75	0,45	0,2	95,35
3	0,74	0,5	0,8	1,1	0,6	0,6	0,25	95,41
4	0,80	0,7	0,5	0,7	0,9	0,3	0,15	95,95

Т а б л и ц а 6. Значения механических свойств образцов опытных сталей

Номер стали	Значение механических свойств после отпуска 150°С, 3 ч	
	твёрдость HRC (замер твёрдости на поверхности)	ударная вязкость KCU, МДж/м ²
1	61–63	0,10–0,15
2	61–62	0,20–0,28
3	61–62	0,20–0,26
4	61–62	0,20–0,24

Из таблиц видно, что легирование стали [8] дополнительно молибденом, снижение количества углерода, корректировка содержания кремния и марганца и повышение содержания ванадия и вольфрама при сохранении содержания хрома позволило сохранить твердость и получить более высокую ударную вязкость, т. е. повысить износостойкость стали нового состава. Ее можно использовать для изготовления инструмента при вырубке изделий из листового проката легированной стали, так как проведенная корректировка химического состава инструментальной стали способствует получению после закалки и отпуска инструмента с требуемой структурой, обеспечивающей выигрыш в стойкости. Закалка с температурой нагрева 950 °С (выдержка в течение 1,5 ч) и охлаждением в масле позволяет получить в поверхностном слое стали мелкозернистую структуру (заслуга присутствия ванадия), состоящую на достаточной глубине из тонкодисперсного теплостойкого мартенсита (заслуга легирования в нужных пропорциях стали хромом, кремнием, вольфрамом, молибденом и ванадием) и равномерно распределенных износостойких первичных карбидов типа МС, легированных хромом, вольфрамом, молибденом и ванадием. Наличие остаточного аустенита (за счет присутствия достаточного количества марганца) в структуре способствует повышению пластичности стали. Это все явилось результатом рационального введения в состав стали необходимого количества углерода, хрома, кремния, ванадия, марганца, вольфрама и молибдена. Отпуск в течение 3 ч при 150 °С стабилизирует структуру и сохраняет высокую твердость, теплостойкость и способствует получению нужной ударной вязкости за счет присутствия износостойких первичных карбидов, остаточного аустенита и теплостойкого высоколегированного мартенсита отпуска в поверхностном рабочем слое инструмента.

На сталь 80ГМС получен патент [6]. Она прошла производственные испытания, использовалась

для изготовления матрицы и пуансонов последовательного штампа Ш 16.2721 при вырубке и формовании электроконтакта ТАФЛ 754.474.036 из ленты латуни Л63 толщиной 0,8 мм. Стойкость штампа составила около 3 000 000 шт. деталей. При использовании стали У8А в качестве материала для рабочих частей стойкость штампа была в пределах 1 520 000 шт. деталей. Штамп был изготовлен на предприятии РУП «Термопласт», а проходил испытания на предприятии ИП «Ефремов В. Н.». Таким образом, стойкость инструмента повысилась в 2 раза. Новые стали 6ХГСВМФ и 7ХГСВМФ прошли лабораторные испытания. Апробирование этих сталей будет проводиться в условиях небольшой потребности заготовок для изготовления инструмента для собственных нужд и выплавкой заготовок из лома на опытном производстве ИТМ НАН Беларуси, где в настоящее время производится отработка техпроцесса. В условиях производства заготовок легированных штамповых сталей типов 6ХГСВМФ и 7ХГСВМФ методом электрошлакового литья для собственного потребления в качестве электрода предложено использовать составной лом заказчика типа режущего инструмента (сталь 45 – сталь Р6М5), имеющийся в наличии на предприятиях.

Выводы

1. Разработаны на основе оптимизации и исследованы три новых состава инструментальных сталей, превосходящие по своим свойствам аналоги: инструментальные стали У8А, 5ХВ2С и ХВСГ. Сталь 80ГМС прошла производственные испытания, а стали 6ХГСВМФ и 7ХГСВМФ находятся в стадии апробирования.

2. Заготовки из этих сталей планируется выплавлять методом электрошлакового переплава стального лома инструментальных сталей с доводкой химического состава в тигле во время плавки и последующей заливкой в кристаллизатор.

Литература

1. Моисеев Б. Ф. Особенности легирования современных штамповых сталей для холодного деформирования // Повышение стойкости инструментальной и технологической оснастки. Мн., 1980. С. 11–13.
2. Федуров В. Н. Научно-методические предпосылки к разработке составов стали для повышения стойкости высоконагруженных штампов холодного деформирования // Литье и металлургия. 2005. № 4(36). С. 54–58.
3. Федуров В. Н. Оценка влияния последовательного увеличения содержания молибдена в составе стали 78ГМФС на ее прокаливаемость и свойства // Литье и металлургия. 2006. № 2 (38). С. 142–145.
4. Федуров В. Н. и др. Инструментальная сталь: Пат. 2041968 RU. 2000.
5. Кукуй Д. М., Федуров В. Н. Разработка легирующей матрицы для создания белорусских инструментальных сталей на базе стали 70К (У8А) производства РУП «БМЗ» (обзор и исследование) // Литье и металлургия. 2004. № 2 (30). С. 109–116.
6. Федуров В. Н. Инструментальная сталь: Пат. 14569 РБ. 2011.
7. Пат. 2232201 RU. 2004.
8. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. 5-е изд. М.: Металлургия, 1983.