



The results of investigations of mechanical characteristics and structures of steels for the technological accessory, recovered by means of electroslag technologies, which are economically efficient ways of stamps recovery are presented. The contents of nonmetallic impurities in metal after electroslag heating is considerably reduced, the impurities are becoming more dispersed and are distributed in ingot volume more uniformly. The characteristics of plasticity and viscosity after electroslag heating are practically equivalent to these characteristics for deformed metal and cost of the stamp recovered by means of electroslag heating is considerably lower than the cost of accessory of deformed metal.

Г. И. КЛЕЩЕНАК, В. А. СТЕФАНОВИЧ, О. Г. ТАРНОВСКАЯ, Ф. И. РУДНИЦКИЙ, БНТУ,
В. А. НОСАТОВ, В. П. СКРЫННИК, Украина

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ РАБОЧИХ СЛОЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ, ВОССТАНОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБОГРЕВА

Вопросами получения биметаллических заготовок для изделий различного назначения ученые занимались сравнительно давно. Особое место среди применяемых в настоящее время методов получения биметаллических заготовок занимают методы, основанные на электрошлаковом сварном процессе: электрошлаковая наплавка, электрошлаковая сварка, электрошлаковый переплав. От других методов они выгодно отличаются прежде всего своей универсальностью и эффективностью.

Применение метода электрошлакового обогрева для восстановления крупногабаритной оснастки позволяет дополнительно изменять химический состав поверхностного рабочего слоя штампового инструмента. Посредством легирования жидкого слоя наплавленного металла можно целенаправленно изменять эксплуатационные свойства восстановленного слоя.

Электрошлаковый обогрев является весьма перспективным методом получения высоколегированных инструментальных сталей в литом состоянии. Использование этого метода при правильном управлении им позволяет получать изделия с уникальными свойствами, что невозможно традиционными способами литейного производства, а в отдельных случаях даже превосходит прочностные, пластические, жаропрочные и другие свойства металла, прошедшего обработку давлением.

В настоящее время уделяется значительное внимание увеличению масштабов создания, освоения и внедрения в производство новой высокоэффективной техники. Большая роль в выполнении поставленных задач отводится уровню и качеству изготавливаемого инструмента, в част-

ности, штампового инструмента для горячего деформирования. Существующие способы изготовления штампов неэкономичны, так как характеризуются высоким расходом дорогостоящей инструментальной стали и значительными припусками на механическую обработку. Несмотря на известные успехи в разработке и применении новых сталей, стойкость штампового инструмента для горячего деформирования остается невысокой. Особенно это относится к литым штампам, низкая стойкость которых обусловлена неудовлетворительным качеством литой инструментальной стали и невысоким комплексом ее технологических, а также эксплуатационных характеристик [2].

Из изложенного выше следует, что проблема разработки новых высокоэффективных составов штамповых сталей для горячего деформирования и совершенствование технологии их термической обработки с целью повышения уровня эксплуатационных и технологических свойств весьма актуальна. Особый интерес в связи с этим представляют новые материалы и технология термической обработки для биметаллических штампов, полученных с использованием электрошлаковой технологии, которая обеспечивает повышение качества литого металла при одновременном сокращении его расхода, а следовательно, и снижается себестоимость продукции.

В настоящее время на белорусских предприятиях используется более 2 тыс. т технологической оснастки (преимущественно штампы и прессы формы литья под давлением) и инструмента из различных средне- и высоколегированных сталей (5ХНМ, 4Х5МФС и др.), которые поставляются из-за пределов республики. Поэтому разработка

технологий, позволяющих восстанавливать отработанную оснастку и изготавливать композиционный биметаллический инструмент из металлоотходов, является весьма перспективной.

Технология восстановления штампов горячего деформирования разработана сотрудниками ИЭС им. Е.О.Патона (Украина), в работах по ее освоению на Жодинском кузнечном заводе тяжелых штамповок участвовали сотрудники БНТУ. В НИЛ МиТЛП БНТУ были проведены исследования структуры и механических свойств технологической оснастки, восстановленной с помощью электрошлаковых технологий. Основой композиционной электрошлаковой заготовки являлся изношенный штамп из стали 5ХНМ. Для наплавки рабочего слоя штампа была разработана сталь 45ХНМАФЛ, для переходного слоя – сталь 45ХНМФ. Опытные работы проводили на НПООО “Цветмет” (г. Жодино).

Для долегирирования использовали азотистый феррохром ФХ600Н, феррованадий Вд1, Вд2, ферромolibден ФМ1, ФМ2 (ГОСТ 4759-91), феррохром ФХ010, ФХ025. При восстановлении был использован флюс марок АН-15М, АНФ-6 и АН-295.

Электроды графитовые состоят преимущественно из кристаллического углерода (100%С) марок ЭГО, ЭГОА, ЭГО1А.

Процесс восстановления рабочей поверхности штампа заключается в следующем. В разъемный водоохлаждаемый кристаллизатор устанавливается вышедший из строя штамп. Зазоры между штампом и кристаллизатором засыпаются порошком магнезита. На гравюру штампа засыпается слой специального флюса и опускаются нерасходуемые графитовые электроды, на которые подается напряжение. После расплавления флюса и подплавления рабочего слоя штампа на глубину гравюры через шлаковую ванну подается стружка из наплавляемой стали. После наплавки слоя необходимой толщины, которая контролируется с помощью специального щупа, снимается напряжение с электродов и начинается процесс кристаллизации. Перед началом кристаллизации восстановленного рабочего слоя штампа через шлаковую ванну вводят модификаторы и раскислители, которые в последующем обеспечат высокую эксплуатационную стойкость биметаллической технологической оснастки.

После охлаждения до 300–400 °С штамп извлекается из кристаллизатора и помещается в колодец для замедленного охлаждения. После этого механической обработкой были изготовлены темплеты для проведения металлографических исследований. Затем образцы помещали в печь для проведения последующей термической обработки, которая заключалась в закалке и высоком отпуске.

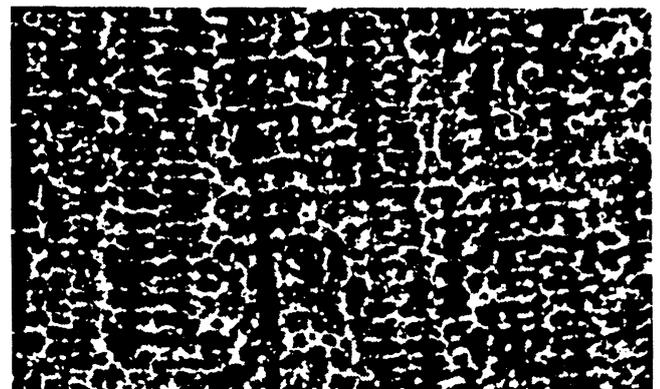
Исследования микроструктуры сталей в литом состоянии без термической обработки показали,

что общей для них является ликвационная неоднородность в распределении легирующих элементов.

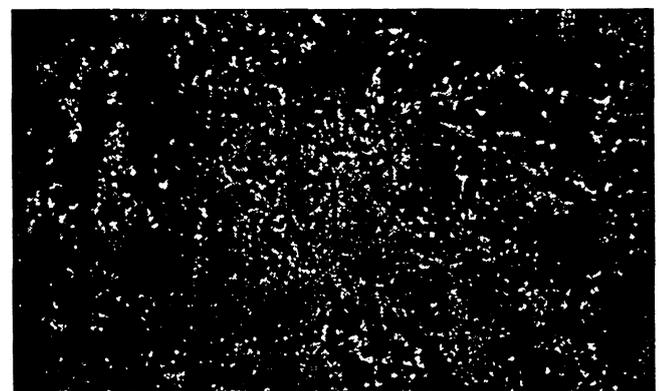
Характерные микроструктуры сталей 5ХНМ, 45ХНМФ и 45ХНМАФЛ в исходном литом состоянии приведены на рис. 1. На рисунке можно отчетливо наблюдать участки пониженной травимости, которые соответствуют зонам с повышенным содержанием карбидообразующих элементов и состоят из троостомартенсита (45ХНМФ и 45ХНМАФЛ). Структура стали 5ХНМ – сферический перлит.



a



б



в

Рис. 1. Микроструктура исследуемых сталей в литом состоянии: *a, б* – микроструктура стали 5ХНМ в литом состоянии. *a* – х5000; *б* – х500; *в* – микроструктура стали 45ХНМАФЛ в литом состоянии. х5000

Участки повышенной легированности (межосные участки) образуют как бы своеобразный каркас, в котором заключены зоны (оси дендритов) с пониженным содержанием легирующих элементов.

Характерным для исследуемых сталей является наличие в междендритных участках выделений сульфидов, а в более легированных (чем сталь 5ХНМ) сталях — крупных карбидных выделений. При этом чем больше в стали содержится карбидообразующих элементов и углерода, тем большее количество выделяющихся первичных карбидов и сложнее их состав. Так, в стали марки 45ХНМФ в межосных участках образуются карбиды типов Me_6C и MeC , содержащие железо, хром, молибден, ванадий. В стали более сложного состава 45ХНМАФЛ в междендритных участках наряду с карбидами простой формы типа MeC образуются квазиледебуритные карбиды эвтектического типа, располагающиеся в виде непрерывной фазы протяженностью до 150 мкм.

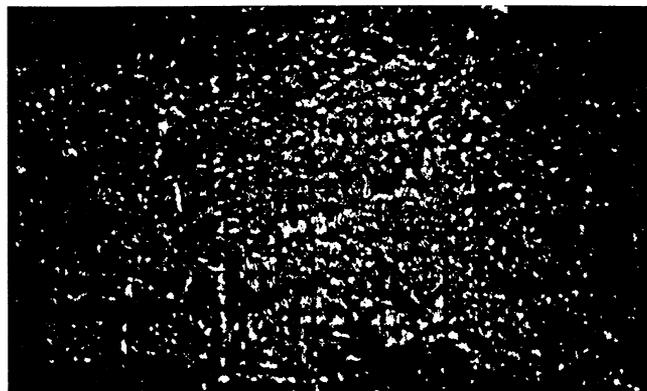
Отжиг и последующая закалка с температур, рекомендуемых для деформированного материала, не устраняют химическую неоднородность распределения легирующих элементов (рис. 2). Структура участков, соответствующих осям дендритов (более темные места на фотографиях), после закалки состоит из мартенсита, а междендритные зоны наряду с мартенситом, первичными карбидными выделениями содержат и остаточный аустенит (рис. 3). При указанных операциях термической обработки в твердый раствор не переходит и большая часть первичных карбидов, количество и протяженность которых определяются составом стали и скоростью охлаждения соответствующих участков отливки при кристаллизации. Химический состав первичных карбидных выделений практически не меняется по высоте отливок.

Последующий после закалки отпуск, вызывая превращение мартенсита и остаточного аустенита, уже не влияет на фиксированную закалкой химическую неоднородность в распределении легирующих элементов. Для полного завершения превращений в междендритных участках всех сталей (кроме стали 5ХНМ) требуется двойной отпуск. На рис. 3 также можно отчетливо наблюдать участки повышенной легированности, обладающие большей твердостью.

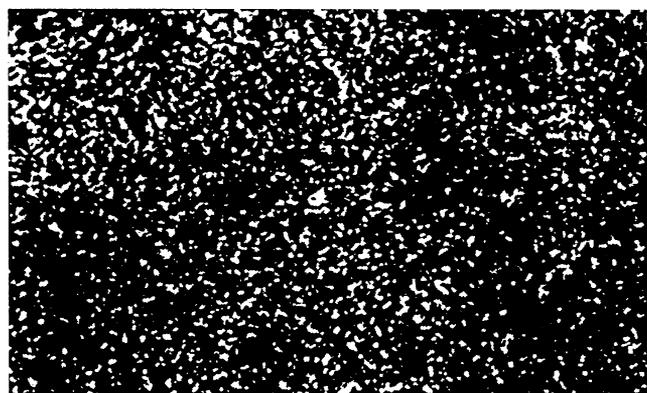
Фазовый состав литых штамповых сталей после окончательной термической обработки аналогичен фазовому составу деформированных сталей.

Были проведены исследования свойств сталей 5ХНМ, 45ХНМФ и 45ХНМАФЛ в литом, деформированном состояниях и после электрошлакового обжига.

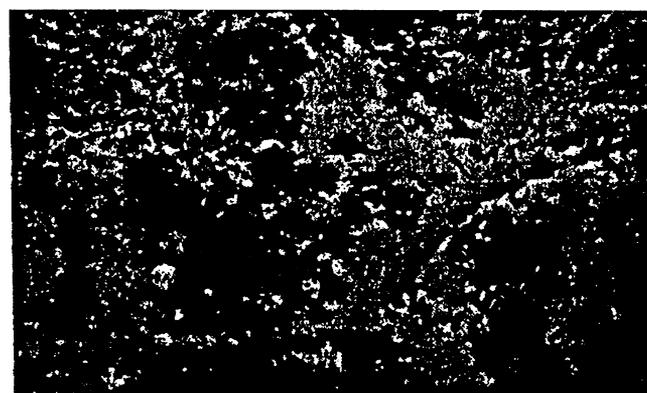
В таблице приведены значения механических характеристик исследуемых сталей.



a



б



в

Рис. 2. Микроструктура исследуемых сталей в отожженном состоянии: *a, б* — микроструктура стали 5ХНМ после отжига (800 °С, 8 ч). *a* — $\times 5000$; *б* — $\times 500$; *в* — микроструктура стали 45ХНМАФЛ после отжига (825 °С, 10 ч). $\times 5000$

Пластичность и вязкость литых сталей зависят от степени легированности, т.е. от количества первичных карбидных включений в междендритных участках. Кроме содержания в литом материале углерода и карбидообразующих элементов, его пластичность и вязкость зависят от скорости охлаждения соответствующих участков отливки при кристаллизации. Эта зависимость выражается тем сильнее, чем более легирована сталь: для отливок из стали марки 5ХНМ максимальное уменьшение ударной вязкости образцов, вырезанных из поверхности, в сравнении с образцами, изготовленными из центральных участков отливок, составляет 13%, а для более легирован-

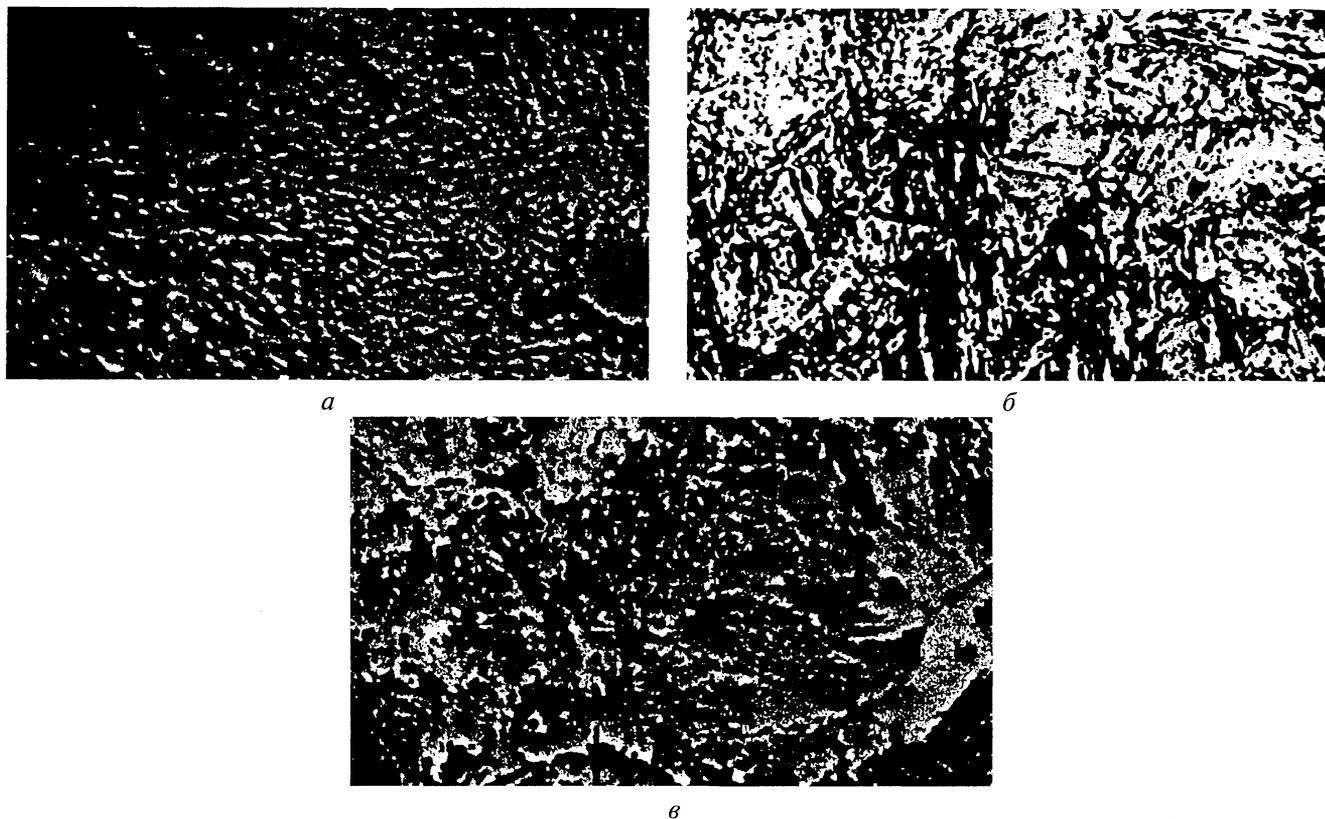


Рис. 3. Микроструктура исследуемых сталей в термообработанном состоянии: а, б – микроструктура стали 5XHM после закалки 850 °С в масле и отпуск 460 °С, 2 ч. а – х5000; б – х500; в – микроструктура стали 45XHMΦЛ после закалки 920 °С в масле и отпуск 510 °С, 2 ч. х5000

Механические характеристики сталей 5XHM, 45XHMΦ, 45XHMΦЛ

Марка стали	Состояние материала	σ_b , МПа	KCU, Дж/см ²	δ , %	HRC
5XHM	Литое	920	38	14	44
	Деформированное	1180	53	25	46
	После ЭШО	1140	52	24	45
45XHMΦ	Литое	1200	36	12	47
	Деформированное	1440	49	22	48
	После ЭШО	1410	48	21	47
45XHMΦЛ	Литое	1340	33	10	49
	Деформированное	1600	45	17	50
	После ЭШО	1560	44	16	49

ной стали марки 45XHMΦЛ – 42%. Так как изменение плотности металла по высоте отливок в этом случае практически одинаково, то объяснить меньшую пластичность и вязкость центральных участков материала отливок можно, видимо, уменьшением суммарной протяженности первичных карбидных выделений, которые, являясь концентраторами напряжений, облегчают возникновение и развитие трещины разрушения, проходящей преимущественно по междендритным участкам.

Из исследуемых сталей только в отливках стали марки 5XHM практически не содержится избыточных карбидов, что и предопределяет максимальные значения пластичности и вязкости этой стали в сравнении ее с более легированными. Характер излома ударных образцов стали 5XHM

подтверждает это (рис. 4). Так, у стали 5XHM излом в основном вязкий, чашечный; внутри некоторых чашек располагаются округлые включения, которыми могут быть сульфиды. Для сталей марок 45XHMΦ и 45XHMΦЛ характерно наличие участков с относительно ровной поверхностью квазискольного характера и большого количества первичных карбидов.

Из результатов испытаний следует, что увеличение скорости охлаждения соответствующих участков отливок при кристаллизации приводит к повышению ударной вязкости материала. Причиной этого является изменение микростроения стали в результате увеличения скорости охлаждения, выражающееся в измельчении дендритной структуры вследствие возрастания количества центров кристаллизации и уменьшения количе-

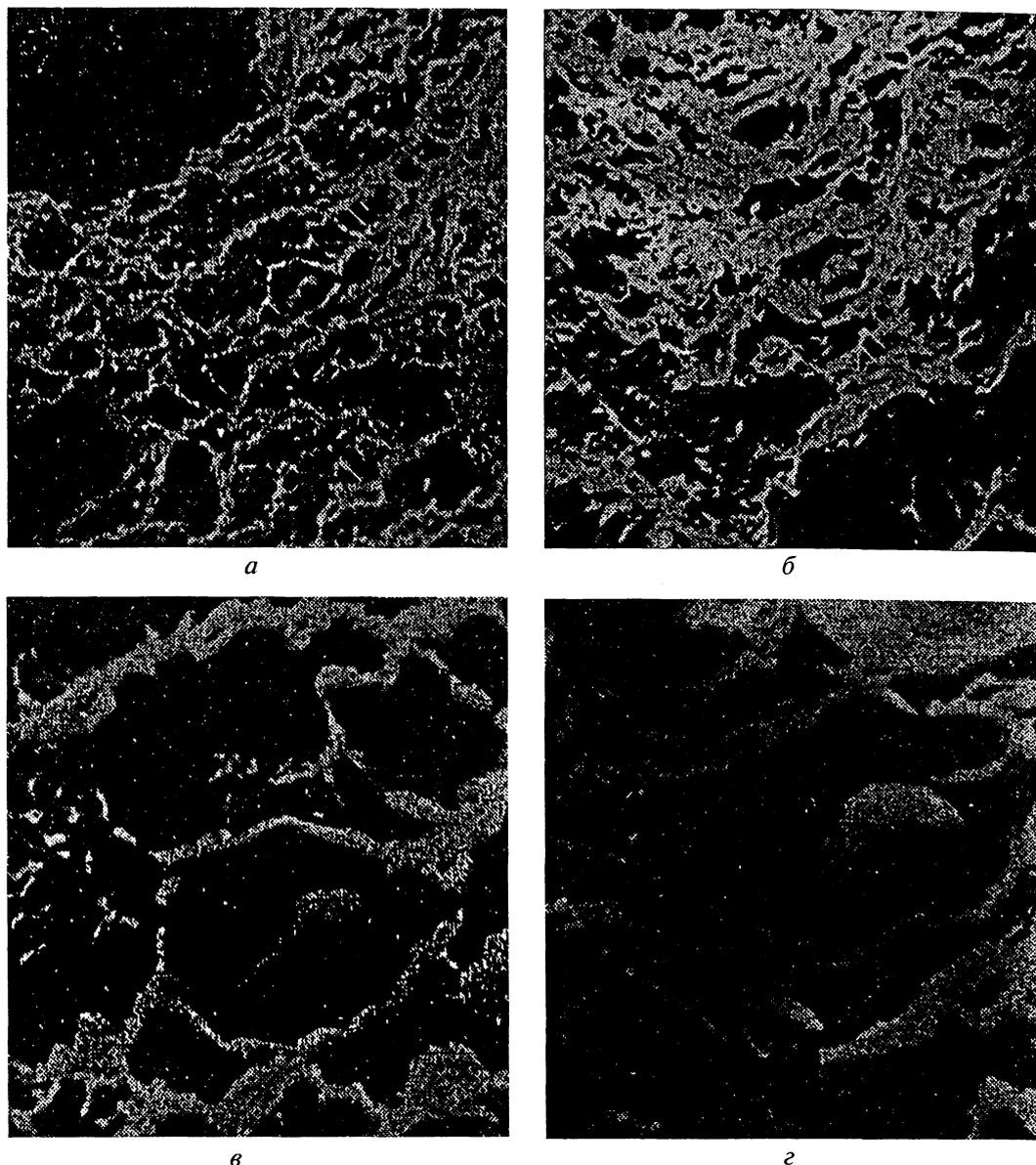


Рис. 4. Микрофрактограммы изломов ударных образцов отливок стали 5XHM, термически обработанных на твердость 46 HRC [2]. а, в – $\times 420$; б, г – $\times 1680$

ства и размеров первичных карбидных фаз, которые выделяются в междендритных участках.

Особенности микростроения, отрицательно влияющие на пластичность и вязкость материала отливок теплостойких штамповых сталей, присущи металлу в основном только в литом состоянии: длительный высокотемпературный нагрев с последующей пластической деформацией при всесторонней осадке слитка и соответствующей степени укова может полностью если не устранить, то в значительной степени исправить их. Идеальной в этом отношении следует считать структуру, полученную в штангах небольшого сечения. Такой структуре соответствуют и высокие показатели пластичности и вязкости материала, значения которых в отличие от литого материала для данной группы сталей уже значительно в меньшей мере зависят от состава.

Из таблицы видно, что пластичность (вязкость) штамповых сталей в деформированном состоянии выше, чем аналогичные свойства сталей в литом состоянии после индивидуальной плавки. Степень отличия свойств материала отливок и поковок определяется в данном случае легированностью стали.

В процессе работы было изучено влияние электрошлакового обогрева на механические свойства исследуемых сталей.

В основу электрошлакового обогрева положены процессы плавления в жидком электропроводном шлаке стружки определенного состава и последовательной кристаллизацией в охлаждаемой водой форме. Такая технология получения слитков обеспечивает литому материалу и, в частности, литым штамповым сталям рафинирование от вредных примесей серы, фосфора, кислорода,

содержание которых по сравнению с обычным способом производства уменьшается приблизительно в 2 раза. В связи с этим содержание неметаллических включений в металле после ЭШО значительно уменьшается и сами включения становятся более дисперсными и более равномерно распределяются в объеме слитка. Кроме того, макроструктура металла после ЭШО характеризуется более высокой плотностью. Так, центральная пористость и точечная неоднородность стали 45ХНМАФЛ обычного способа производства оцениваются в 2–3 балла, а после ЭШО не превышает 0,5 балла.

Особенности процесса кристаллизации при ЭШО, протекающего с более высокой скоростью в сравнении с обычными способами, проявляются и в уменьшении развития ликвационных явлений, что особенно важно для теплостойких штамповых сталей.

Следствием указанного влияния ЭШО на макро- и микроструктуру является повышение пластичности и вязкости литого материала. Из таблицы следует, что повышение пластичности и вязкости литых сталей после ЭШО значительно, характеристики пластичности и вязкости после обжига практически равноценны деформированному металлу.

Стойкость литых штампов из металла ЭШО в зависимости от преобладающих причин повреждения инструмента при эксплуатации либо равноценна работоспособности кованных штампов, либо превосходит ее за счет большей износостойкости литой структуры.

Однако, несмотря на эффективность влияния ЭШО на пластичность и вязкость литых штамповых сталей, главным недостатком этого метода в настоящее время является то, что получаемые таким методом заготовки требуют такой же ме-

ханической обработки, как и деформированные кубики.

В связи с этим применение литого штампового материала, получаемого ЭШО, будет более оправданным в тех случаях, когда по условиям эксплуатации высокие значения пластичности и вязкости материала штампов невозможно обеспечить, и используют литые штампы, изготовленные обычными способами.

Результатом влияния ЭШО на макро- и микроструктуру является повышение пластичности и вязкости литого материала, после обжига они практически равноценны деформированному металлу.

Электрошлаковый обжиг является экономически эффективным способом восстановления штамповой оснастки. Содержание неметаллических включений в металле после ЭШО значительно уменьшается, включения становятся более дисперсными и более равномерно распределяются в объеме слитка. Характеристики пластичности и вязкости после электрошлакового обжига практически равноценны данным характеристикам для деформированного металла. Все неизбежные расходы при восстановлении заготовки штампа окупаются достаточно быстро. Себестоимость штампа восстановленного ЭШО в несколько раз дешевле, чем литого штампа. Таким образом, электрошлаковые технологии занимают особое место среди других методов получения биметаллических изделий.

Литература

1. Меськин В.С. Основы легирования стали. М.: Металлургиздат, 1959.
2. Куниловский В.В., Крутиков В.К. Литые штампы для горячего объемного деформирования. Л.: Машиностроение, 1987.