

УДК 669.017.1:621.7.016.6

Г.В.Волков

ГП НПКГ «Зоря» - «Машпроект»

СТРУКТУРНАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ В СПЛАВАХ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

В работе представлены результаты исследований влияния электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) расплавов на структурную наследственность при последующих технологических операциях: предварительной и окончательной термической обработке, поверхностной пластической деформации, химикотермической обработки. Установлено, что подготовка расплава изменяет условия структурообразования за счет сохранения наследственных структурных признаков при смене агрегатного состояния.

Ключевые слова: *структурная наследственность, электрогидроимпульсная обработка, термическая обработка, химикотермическая обработка, поверхностная пластическая деформация.*

Процессы формирования структурного состояния металлических материалов связаны с многообразием технологических аспектов их получения. К ним можно отнести температуру перегрева расплава, температуру и скорость заливки формы, скорость кристаллизации и охлаждения отливки или слитка и т.п. Вместе с тем структура, а, следовательно, и свойства металлоизделий существенным образом зависят и от состояния расплава на предразливочной стадии. В связи с этим, при надлежащей оптимизации и соблюдении технологических параметров, для обеспечения требуемого качества продукции литейного производства важную роль играет подготовка расплава.

В настоящее время в мировой практике этому вопросу уделяется большое внимание. Применяют такие технологии, как вакуумирование расплава, электрошлаковый переплав, электромагнитное перемешивание, использование агрегатов типа "печь-ковш", ультразвуковую (УЗК) обработку, обработку электрическим током, электрогидроимпульсную обработку (ЭГИО) расплава [1 – 4] и др. Применение большинства из названных способов связано с определенными трудностями и в первую очередь экономическими. Дорогое оборудование, высокие энергозатраты, сложности встраивания в существующие технологические процессы усложняют внедрение этих способов обработки расплавов в литейном производстве. Способ ЭГИО расплава в ковше волноводом электроразрядного генератора упругих колебаний (ЭРГУК) [5] является наиболее эффективным с точки зрения энергозатрат (до 5 кВт·т), не требует больших капитальных затрат при встраивании в цеховую производственную цепочку. Технологические моменты данного способа требуют определенного обобщения и оптимизации, а влияние на структурное поведение сплавов при последующих технологических операциях обработки – глубокого изучения с точки зрения проявления структурной наследственности.

Проведенными ранее исследованиями [6 – 9] установлено, что широкий частотный спектр посылаемых в расплав импульсов давления при ЭГИО обеспечивает интенсивное перемешивание жидкости в разливочном ковше, приводит к перераспределению легирующих и примесных элементов, удалению неметаллических включений и растворенных в расплаве газов. Эти факторы воздействия на расплав изменяют кинетику процессов кристаллизации и таким образом приводят к увеличению числа зародышей и скорости их роста, а, следовательно, к измельчению литой структуры. В сплавах с полиморфным превращением наблюдаются изменения процессов вторичной кристаллизации, в многофазных сплавах изменяется морфология и количественное соотношение фаз и структурных составляющих. Размеры фаз уменьшаются, а их распределение по размерам становится более однородным. Все эти структурные изменения обеспечивают повышение механических и служебных характеристик, а дегазация и удаление неметаллических включений приводит к увеличению выхода годного металла.

Вместе с тем в промышленных условиях отливки и заготовки в литом состоянии применяются достаточно редко. Их подвергают механической обработке, обработке давлением, предварительной и окончательной термической обработке, химикотермической обработке и другим видам воздействия. В связи с этим изучение влияния предварительной обработки расплава на предразливочной стадии на процессы структурообразования и наследственность [10, 11] при последующих технологических воздействиях весьма актуальная задача и позволит провести оптимизацию и необходимую корректировку существующих технологических процессов с целью улучшения комплекса эксплуатационных характеристик материалов. Цепочку получения металлоизделий можно представить следующим, весьма упрощенным образом: **шихта** → **расплав** → **отливка** → **изделие**. Однако на каждом этапе производства возможны дополнительные технологические воздействия на материал, что может привести к существенным изменениям структурного состояния в зависимости от начальной структуры, а, следовательно, и комплекса окончательных свойств.

Основной целью данной работы было изучение структурной наследственности в сплавах подвергнутых ЭГИО в жидком состоянии на процессы структурообразования при последующих технологических операциях.

Эксперименты по обработке высокохромистых износостойких чугунов с содержанием Cr 12 – 25% проводили в промышленных и лабораторных условиях. В качестве шихты использовали, как свежую лигатуру, так и бой деталей выработавших свой ресурс. На рис. 1 представлена микроструктура боя использованного в качестве шихтового материала. Химический состав данной шихты соответствовал сплаву Z180C13 французского производства с содержанием Cr ~ 13%, а С ~ 1,8%. Структура характеризуется наличием эвтектики с первичными карбидами типа $(CrFe)_7C_3$ и мелкодисперсными вторичными карбидами типа $(CrFe)_{23}C_6$, распределенными равномерно в объеме первичных матричных зерен.

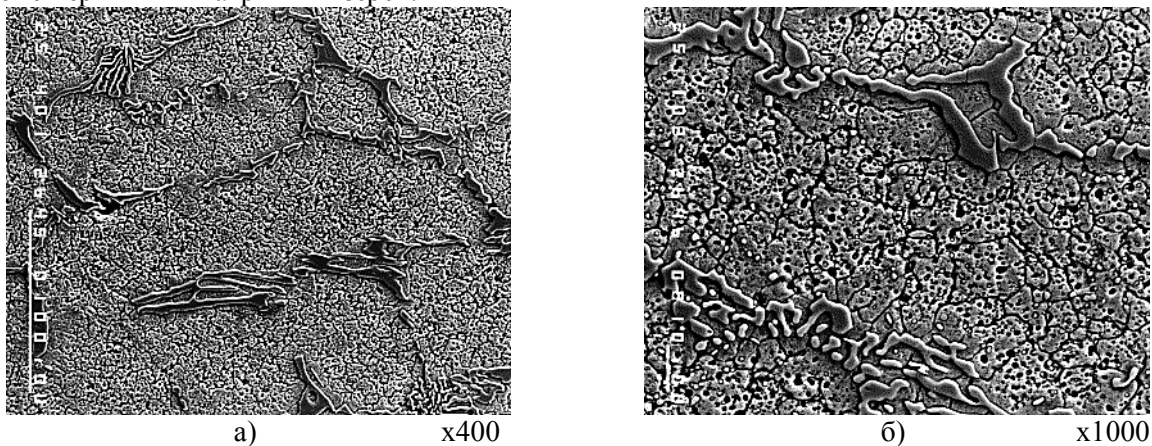


Рис. 1. Микроструктура шихтового материала (сплав Z180C13).

Переплавление шихты по традиционной технологии и с применением ЭГИО показало, что в литом состоянии произошло измельчение структурных составляющих (эвтектических карбидов и матричных зерен) в опытном металле. Последующая термическая обработка выявила наличие характерных структурных признаков шихтового материала. В опытном металле изменился механизм упрочнения. Вместо мартенситного упрочнения наблюдается дисперсионное упрочнение с выделением мелкодисперсных вторичных карбидов $(CrFe)_{23}C_6$ (см. рис. 2). Размеры и количество этих карбидов отличаются от шихтовых. Можно предположить, что это связано с необходимостью оптимизации режимов термической обработки.

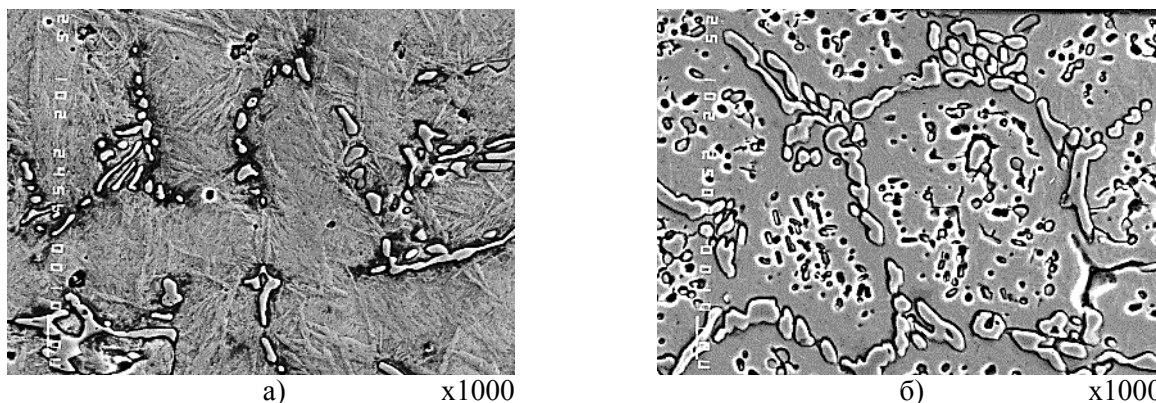


Рис. 2. Микроструктура контрольного (а) и опытного (б) металла после термической обработки.

Аналогичные результаты были получены и при экспериментах на свежей шихте. Обработке подвергался сплав 250Х25НГ. Его структура представлена на рис. 3. Анализ показал, что в результате ЭГИО в опытном металле произошло измельчение структурных составляющих, изменилась морфология первичных и эвтектических карбидов (рис. 3, а, б). После термической обработки наблюдается выделение вторичных, упрочняющих карбидов типа $(CrFe)_{23}C_6$ (рис. 3, г).

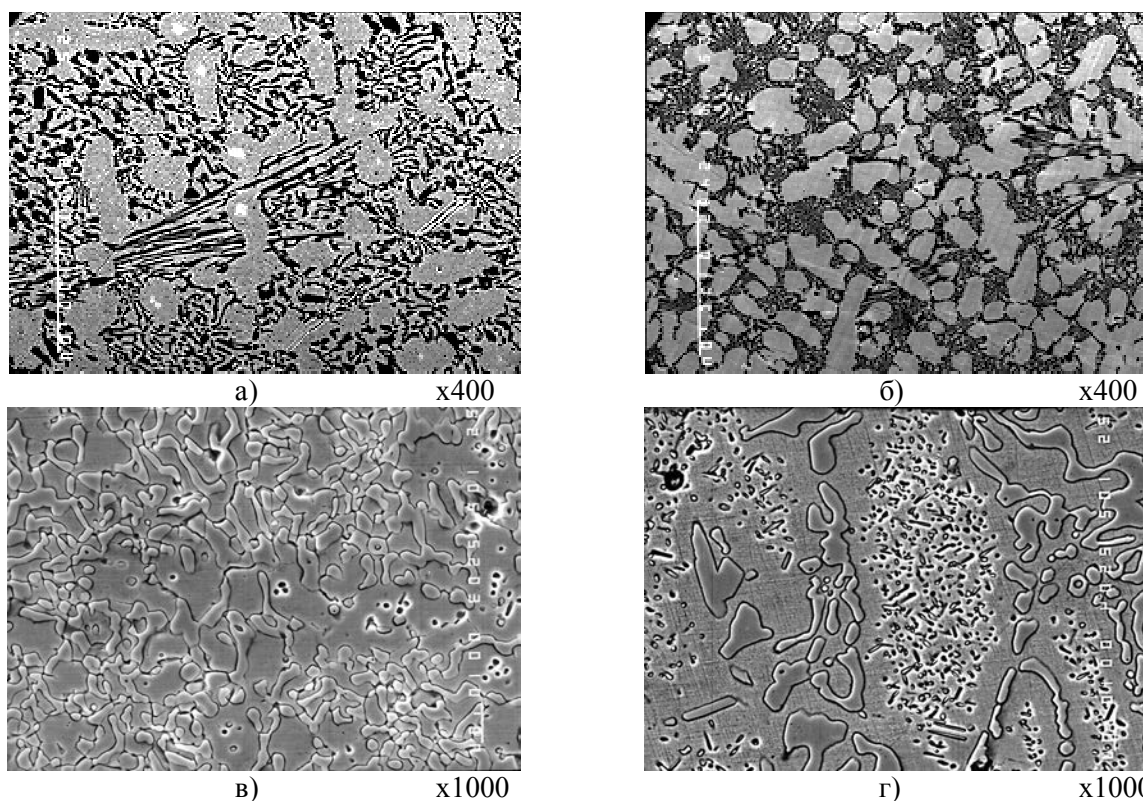


Рис. 3. Микроструктура сплава 250Х25НГ, а), б) – литое состояние; в), г) – после термической обработки, а), в) – контрольный металл; б), г) – опытный металл.

Такие структурные изменения, по всей видимости, связаны с воздействием ЭГИО на более тонкие структурные уровни [6, 12], что было подтверждено результатами фазового рентгеноструктурного анализа. Матричное зерно в опытном металле представляет собой твердый раствор на основе γ -Fe, а в контрольном металле – на основе α -Fe. Произошла стабилизация метастабильного аустенита вплоть до комнатной температуры. Следовательно, при последующей термической обработке изменились процессы структурообразования и механизмы упрочнения, связанные с проявлением структурной наследственности после ЭГИО расплава.

Эксперименты по обработке сплава АК9ч на алюминиевой основе были проведены в промышленных условиях. Расплав подвергали комплексному воздействию – ЭГИО с продувкой
©Г.В.Волков

расплава аргоном в различной последовательности (ЭГИО + аргон; аргон + ЭГИО). В литом состоянии наблюдается изменение количественного соотношения эвтектики и матричного зерна в контрольном и опытном металле (см. рис. 4). После обработки происходит измельчение интерметаллидных фаз в эвтектике, существенно снижается количество вытянутых, иглообразных интерметаллидов.

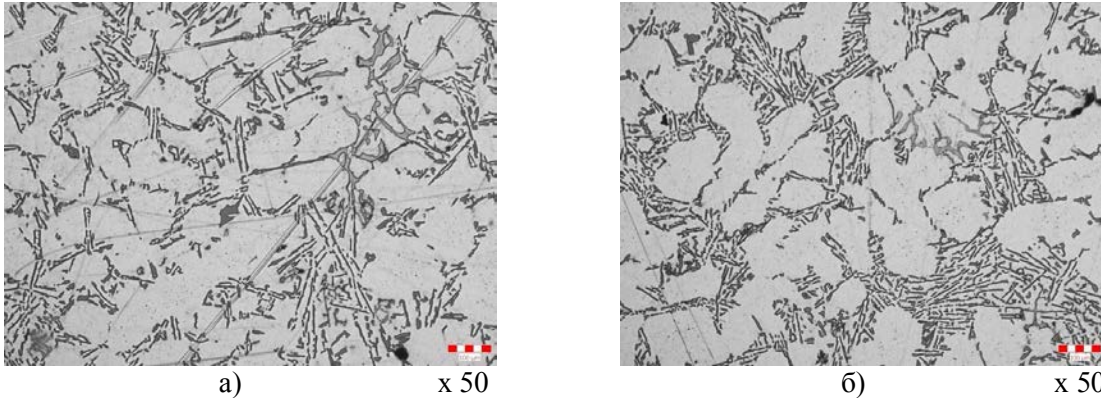


Рис. 4. Структура контрольного (а) и опытного (б) металла сплава АК9ч в литом состоянии.

Последующая упрочняющая термическая обработка (закалка и старение) показала, что кинетика процессов формирования и выделения упрочняющих интерметаллидов изменяется. На рис. 5 представлены зависимости изменения микротвердости матричного зерна от продолжительности выдержки при старении. Микротвердость в опытном металле возрастает на 10%, а время достижения максимального уровня микротвердости сокращается практически в три раза. Процессы искусственного старения ускоряются, а, следовательно, активизируется диффузия и самодиффузия атомов в обработанном металле. Такие изменения подтверждаются структурным состоянием опытного металла. Микротвердость возрастает за счет увеличения количества упрочняющих интерметаллидов (см. рис. 6), расположенных равномерно в объеме матричного зерна. Твердость по Виккерсу в опытном металле увеличивается на 40%, что, по всей видимости, связано как с увеличением мелкодисперсных интерметаллидов, так и с исходным измельчением микроструктуры в литом состоянии.

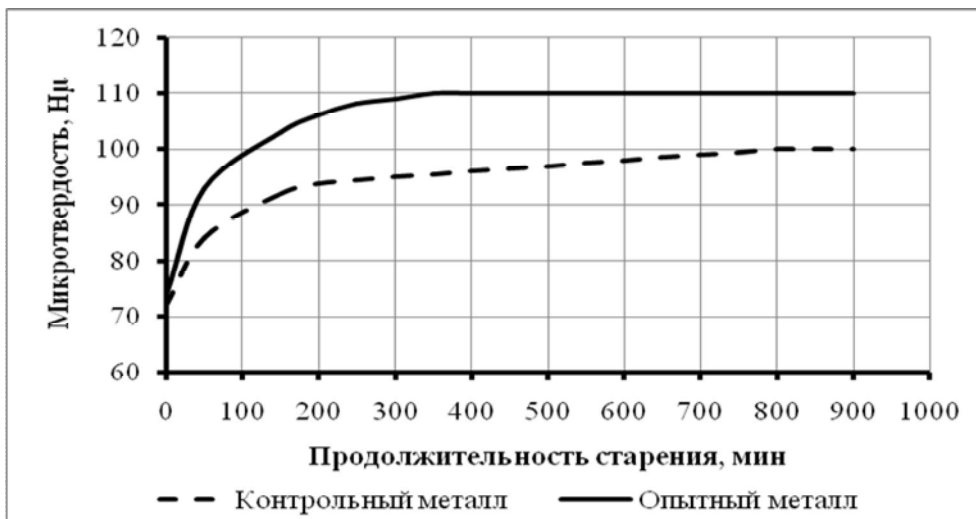


Рис. 5. Зависимость микротвердости матричного зерна от продолжительности старения.

Изменения, произошедшие в кинетике упрочнения при старении, а именно, существенное сокращение продолжительности могут оказать весомый вклад в сокращение энергетических и экономических затрат при проведении окончательной термической обработки.

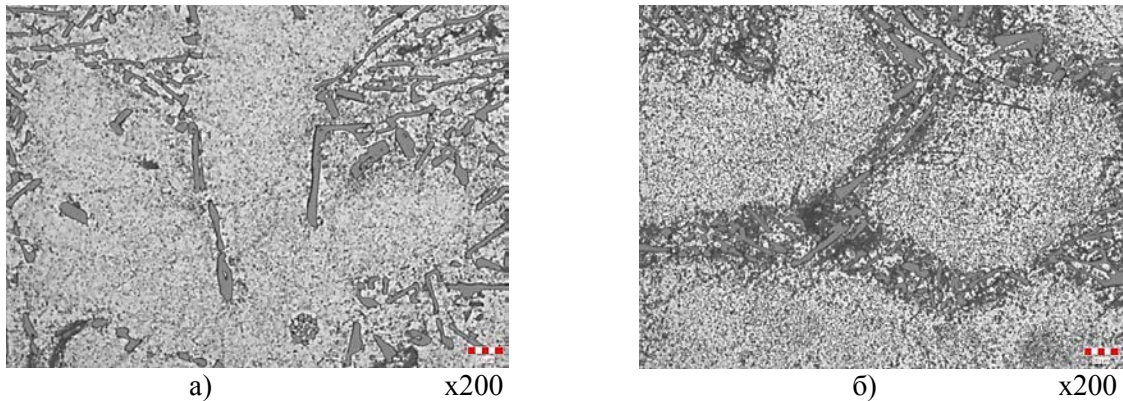


Рис. 6. Структура контрольного (а) и опытного (б) металла сплава АК9ч в термообработанном состоянии.

Таким образом, предварительная ЭГИО сплава АК9ч не только влияет положительно на измельчение структуры в литом состоянии, но и приводит к проявлению наследственных признаков при последующем термическом воздействии на отливку.

Следующая серия экспериментов была проведена на заготовках из стали 20, полученных методом центробежного литья. Опытный металл перед кристаллизацией подвергали ЭГИО в разливочном ковше. Структура контрольного и опытного металла в литом состоянии и после стандартного отжига представлена на рис. 7. В результате обработки расплава наблюдается измельчение структурных составляющих, которое наследуется и на этапе предварительной термической обработки (см. рис. 7, в, г).

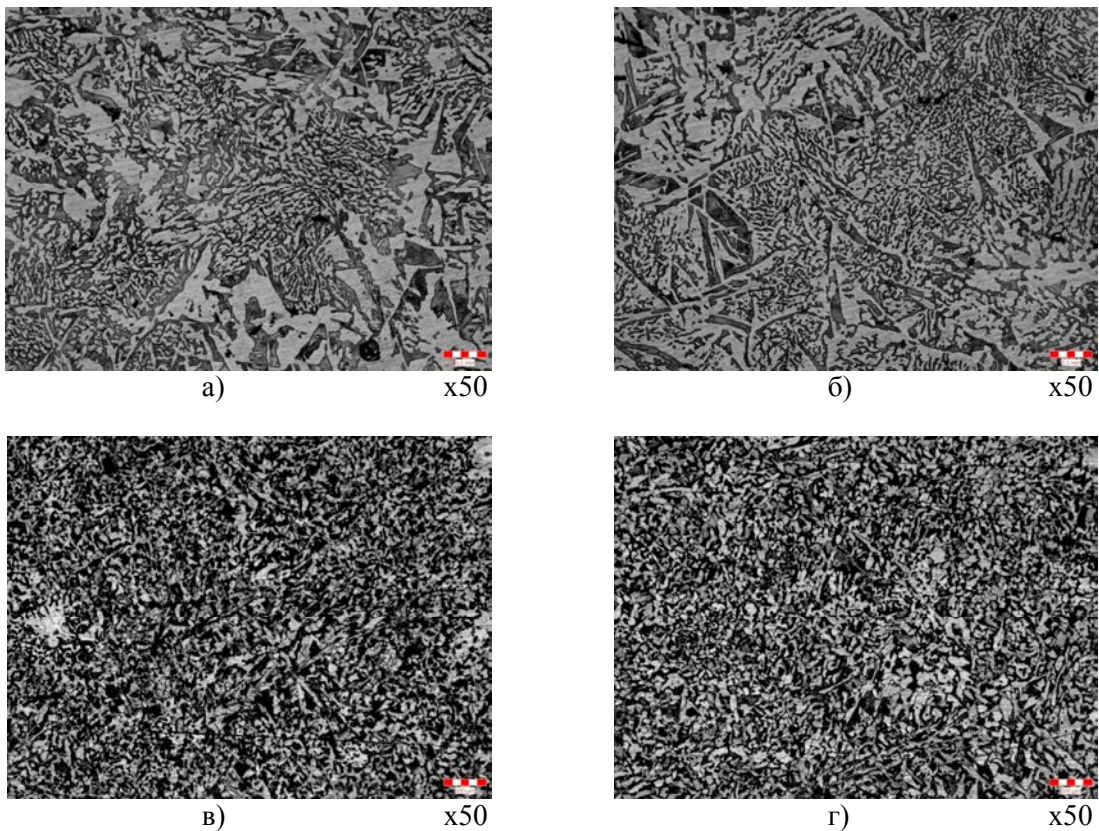


Рис. 7. Структура стали 20 в литом (а; б) и термообработанном (в; г) состоянии; а; в) – контрольный металл, б; г) – опытный металл.

В дальнейшем образцы из стали 20 подвергали улучшению (закалка с высоким отпуском), поверхностной пластической деформации (ППД) с различными степенями обжатия, а в

©Г.В.Волков

последствии – газовому азотированию. На рис. 8 приведена структура поверхности в образцах, полученных при ППД и азотировании. Обращает на себя внимание тот факт, что опытный металл обладает большей деформационной способностью по сравнению с контрольным металлом (см. рис.8, а, б). Микротвердость поверхностного слоя за счет ППД возрастает в контрольном металле на 50%, а в опытном металле – на 57%.

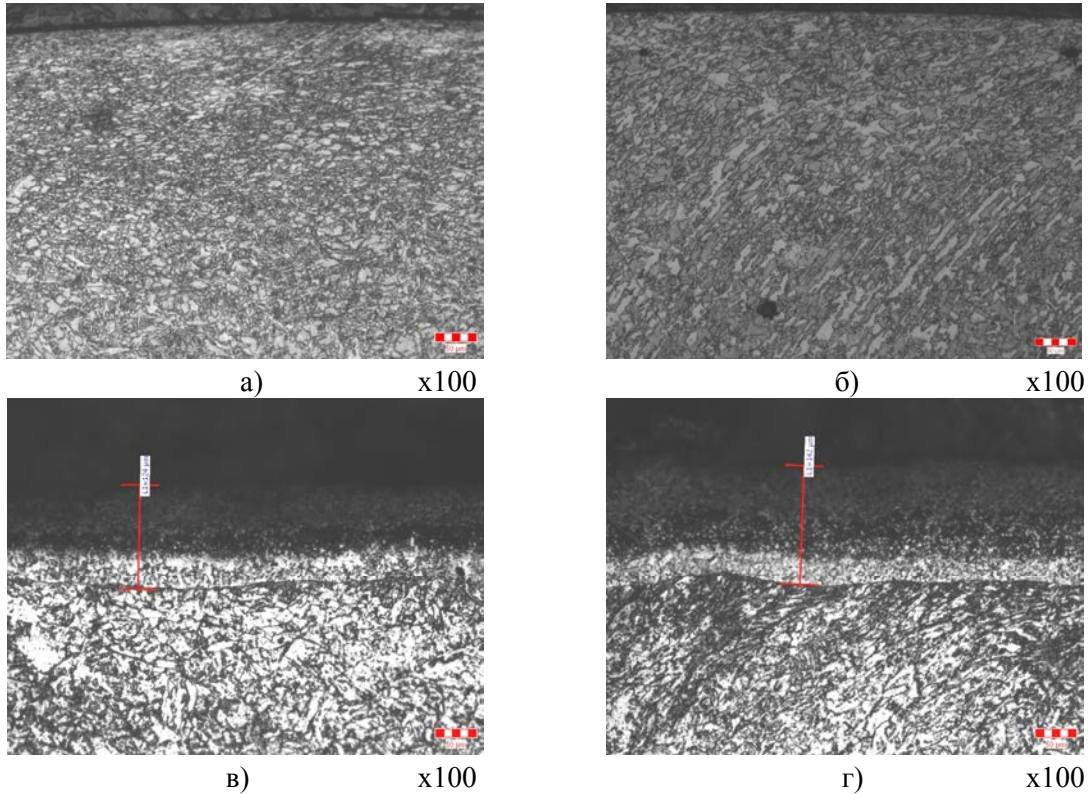


Рис. 8. Микроструктура контрольного (а, в) и опытного (б, г) металла после ППД (а, б) и азотирования (в, г).

Последующее азотирование также показало проявление структурных наследственных признаков, что наблюдается в микроструктуре опытного металла под азотированным слоем (см. рис. 8, г). Глубина азотированного слоя в опытном металле увеличивается на 10 – 15% по сравнению с контрольным металлом, а степень упрочнения поверхности (отношение микротвердости поверхности к микротвердости основы, выраженное в процентах) составила 215% и 245% для контрольного и опытного металла, соответственно.

Таким образом, результаты комплексных исследований по влиянию подготовки расплава к кристаллизации методом ЭГИО на структурную наследственность различных сплавов показали, что избыточная энергия, введенная в расплав на предразливочной стадии, усваивается жидкой системой. Заложенная в расплав информация фиксируется структурными элементами и сохраняется до температур фазовых переходов в жидком (температуры ликвидус, солидус) и в твердом состоянии, а также наследуется при последующих технологических воздействиях. Такое проявление структурной наследственности является резервом в повышении эксплуатационных характеристик обработанных сплавов.

1. Грабовий В.М. Наукові і технологічні основи електрогідроімпульсної дії на структуру і властивості виливків із сплавів на основі заліза і алюмінію / автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.16.04 "Ливарне виробництво" / В.М. Грабовий.- К., 2007.- 42 с.
2. Абрамов О.В. Воздействие мощного ультразвука на межфазную поверхность металлов / О.В. Абрамов, В.И. Добаткин, В.Ф. Казанцев и др. // – М.: Наука. – 1986. – 278 с.
3. Дубоделов В.И. Специализированная литейная МГД-техника / В.И. Дубоделов, В.К. Погорский, Л.П. Пузаева и др. // Металл и литье Украины. – 1994. - № 3 – С. 13-15.
4. Грабовый В.М. Выбор технологии электрогидроимпульсной подготовки расплава к заливке / В.М. Грабовый // [Металлургия машиностроения. – 2009.](#) – № 1.– С. 29-34.
5. Гулый Г.А. Научные основы разрядноимпульсных технологий / Г.А. Гулый // – Киев: Наукова думка. – 1990. – 208 с.
6. Грабовый В.М. Метод управления структурой промышленных сплавов / В.М. Грабовый, С.С. Дьяченко, Г.В. Волков // Металл и литье Украины. – 1995. – № 11-12 . – С. 41 – 45.
7. Волков Г.В. Модификующий эффект электрогідроімпульсної обробки розплаву. Повідомлення 1: Високовуглецеві сплави системи Fe-C / Г.В. Волков // Матеріалознавство та обробка металів. – 2001. – №3. – С. 31 – 35.
8. Волков Г.В. Модификующий эффект электрогідроімпульсної обробки розплаву. Повідомлення 2: Спеціальні сплави систем Fe-Cr-C, Fe-Ni-C, Fe-Si-C / Г.В. Волков // Матеріалознавство та обробка металів. – 2003. – № 3. – С. 48 – 55.
9. Кондратюк С.Є. Структуроутворення, спадковість і властивості литої сталі / С.Є. Кондратюк // - Київ: НВП «Видавництво "Наукова думка" НАН України». – 2010. – 176 с.
10. Волков Г.В. О влиянии электрогидроимпульсной обработки на структурную наследственность расплава / Г.В. Волков, В.М. Грабовый, В.Н. Цуркин // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 18 – 20.
11. Цуркин В.М. Вплив електрогідроімпульсної обробки розплаву на елементи різних структурних рівнів в металі / В.Н. Цуркин, Г.В. Волков, А.В. Сінчук // Матеріалознавство та обробка металів. – 2004. – № 4. – С. 37 – 43.