

УДК 669.15:621.785.5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ С ЭФФЕКТОМ САМОУПРОЧНЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

¹А.П. Чейлях¹Приазовский государственный технический университет,²Я.А. Чейлях, ²Г.В. Шейченко²ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича»
г. Мариуполь, Украина

Обобщены перспективные материалы и технологии упрочнения для ряда деталей и инструмента, которые основаны на использовании метастабильных состояний, что обеспечивает реализацию деформационных фазовых превращений при испытаниях (эксплуатации) (ДФПИ) обуславливающих эффекты их самоадаптации и самоупрочнения в процессе срока службы. Показаны преимущества и широкие возможности повышения механических свойств и эксплуатационной стойкости материалов благодаря оптимальному развитию ДФПИ и получению указанных эффектов.

Perspective materials and technologies of hardening for the parts of machine and tools, which are based on the use of the metastable states, that provides realization of deformation induced phase transformations at the tests (operation) (DIPTT) of stipulating the effects of their self-adapting and self-strengthening in the process of term of service are generalized. Advantages and wide possibilities of increase of mechanical properties and operating service life of materials are rotined due to optimum development of DIPTT and receipt of the indicated effects.

Многие виды деталей различного механического оборудования предприятий Украины, России и Беларуси изготавливают из дефицитных и дорогостоящих металлических материалов, к тому же требуют существенного повышения надежности и долговечности эксплуатации. Задача создания новых экономнолегированных материалов, обладающих повышенными свойствами и, одновременно, экономичных, а также эффективных способов и технологий их упрочнения остается весьма актуальной задачей современного материаловедения.

В Приазовском государственном техническом университете (ПГТУ) накоплен определенный опыт разработки новых функциональных материалов и упрочняющих технологий для деталей оборудования, способных к самоупрочнению и самоадаптации в условиях эксплуатации, обладающих повышенными механическими и эксплуатационными свойствами.

Целью настоящей работы является обобщение информации о разработанных самоадаптирующихся экономнолегированных материалах, способах и технологиях упрочнения, основанных на использовании деформационных фазовых превращений при испытаниях и эксплуатации (ДФПИ), что обеспечивает эффект эксплуатационного самоупрочнения.

Для быстроизнашивающихся деталей многих видов механического оборудования (футеровочные плиты тракта шихтоподачи в агло-доменном производстве, лопасти дробеметов, ковши пескометов, сопла дробеструйных аппаратов и др.) широко применяются износостойкие чугуны. Многие известные марки износостойких чугунов, например «нихард» (ЧХ9Н5), ИЧХ12М, ЧХ16М2, ЧХ28Н2, «клаймэкс эллой – 42», комплексно легированный износостойкий чугун (КЛИЧ) марки ЧХ15Г2НМФТ и др., содержат в

своём составе дорогие и остродефицитные компоненты (Ni, Mo, V, W, Nb и др.) [1–3], что сдерживает их широкое использование и стимулирует необходимость разработки более экономичных материалов.

С целью замены этих материалов экономнолегированными, не содержащими этих элементов, разработаны износостойкие чугуны на Fe-Cr-Mn-C и Fe-Mn-C основах [4]. Главной их особенностью и неоспоримым преимуществом является отсутствие в составе указанных выше компонентов, которое компенсируется специально создаваемой метастабильностью аустенитной составляющей структуры, что обеспечивает эффект деформационного самоупрочнения в процессе эксплуатации благодаря развитию в рабочем поверхностном слое деталей деформационного мартенситного превращения при изнашивании (ДМПИ) непосредственно под воздействием эксплуатационной абразивной среды (шихтовых материалов). Это превращение вызывает образование мартенсита деформации (аналогично тому как образуется мартенсит при закалке) в тонком поверхностном слое, однако более дисперсного, более твердого и износостойкого. Параллельно протекают процессы динамического деформационного старения мартенсита и аустенита (ДДС), обуславливающего дополнительное дисперсионное самоупрочнение выделяющимися высокодисперсными частицами карбидов и карбонитридов. Кроме того, эти ДФПИ сопровождаются перераспределением и поглощением энергии возмущающей эксплуатационной среды, в связи с чем меньшая ее часть остается на разрушение поверхности деталей [4]. Все это в совокупности обеспечивает дополнительное повышение износостойкости, надежности работы и долговечности деталей, изготовленных из этих чугунов.

Разработанные износостойкие чугуны на основе Fe-Cr-Mn-C и Fe-Mn-C внедрены для отливки защитных плит разгрузочной части агломашин

аглофабрик (рис. 1), тракта шихтоподачи в доменных цехах (защитные плиты перекидного лотка, скипов и распределительного лотка и др.), лопаток, импеллеров и защитных плит дробебетных машин, ковшей пескометных аппаратов (рис. 2), сопел дробеструйных установок. Их применение позволяет исключить из состава чугунов и, соответственно, экономить остродефицитные легирующие компоненты (никель, молибден, ванадий) и снижать себестоимость при одновременном повышении долговечности деталей в 1,5–2,5 раза, сокращении затрат на производство, ремонтно-эксплуатационных расходов, повышении производительности оборудования.

Применительно к конкретным условиям эксплуатации деталей необходимы определенные фазовый и химический состав чугунов, степень метастабильности структуры (для оптимального развития ДМПИ, ДДС и реализации эффектов самоадаптации к условиям работы и самоупрочнения), что регулируется легированием, в ряде случаев и режимом термической обработки.

В целях экономии остродефицитных легирующих элементов и замены дорогих жаростойких сталей типа 35X23N7CЛ, 40X24N12CЛ, содержащих 7–13 % никеля и применяющихся для деталей печной арматуры (рис. 3), нами разработаны безникелевые жаростойкие стали [5]. Стали содержат аналогичное количество хрома 21–23,5 %, никель исключен из состава, при небольшом содержании ванадия (0,1–0,25 %) и марганца.

Для изготовления колосников спекательных тележек агломерационных машин металлургическими предприятиями широко используются износостойкие и жаростойкие чугуны типа ЧХ28Н2, стали 75X28Н2CЛ, содержащие ~ 2 % никеля и большое количество хрома 27–30 %. С целью экономии никеля и хрома при сохранении на высоком уровне эксплуатационной долговечности таких материалов, нами разработан состав нового экономнолегированного жаростойкого сплава, который

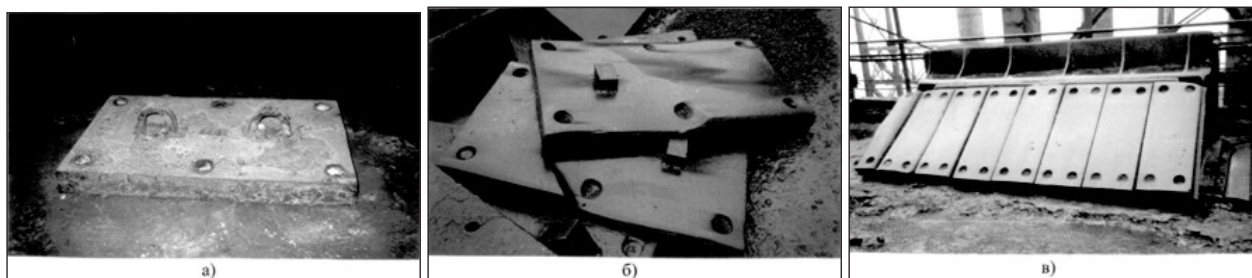


Рис. 1. Внешний вид футеровочных плит агломашин из экономнолегированного чугуна до эксплуатации (а), после эксплуатации (б) и ножа скалывания после эксплуатации (в) в течение 1 года

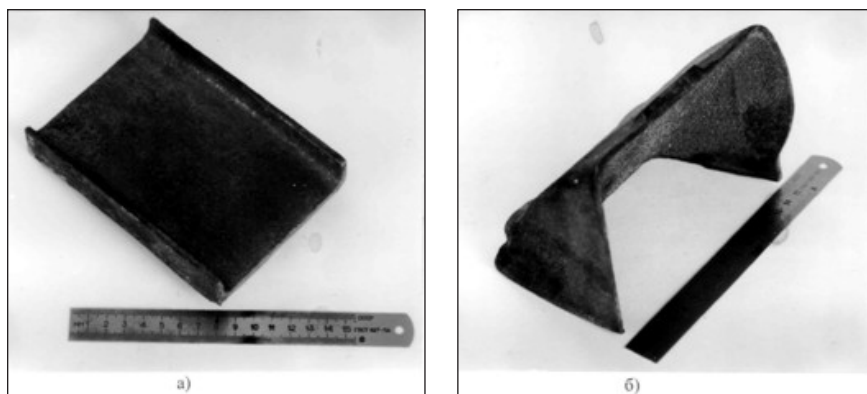


Рис. 2. Внешний вид лопасти дробемета (а) и ковшика пескомета (б) из экономнолегированного чугуна

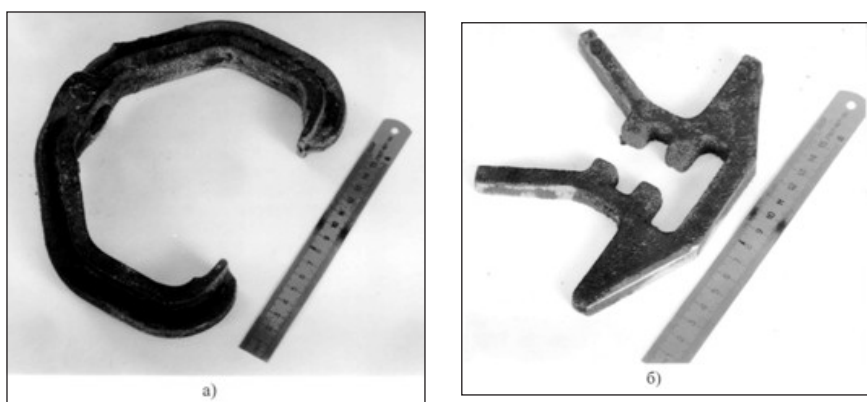


Рис. 3. Детали печной арматуры из безникелевых жаростойких сталей: а) подвеска; б) скоба

содержит меньше, примерно на 8 % количество хрома, исключено содержание никеля, при дополнительном легировании кремнием и титаном [6].

В условиях циклирования температуры при эксплуатации колосников ($\sim 600 \times 20$ °С) твердость известных применяющихся материалов (ЧХ28Н2, ЧХ24Т, 75Х28Н2СЛ) постепенно снижается на 6–8 HRC, в то время как в разработанном сплаве она повышается на 3–7 HRC. Последнее объясняется эффектом дестабилизации аустенита образованием мартенсита и дисперсионным упрочнением. В результате износостойкость известных никельсодержащих материалов в процессе термоциклирования постепенно снижается, а разработанного сплава – напротив, повышается.

По жаростойкости сплавы с меньшим содержанием углерода 75Х28Н2СЛ как и разработанный безникелевый превосходят чугуны ЧХ28Н2 и ЧХ24Л, содержащих значительно большее количество углерода, связывающего основной

элемент — хром в карбиды. К тому же в процессе ТЦО износостойкость чугунов ЧХ28Н2 и ЧХ28Л непрерывно и в значительной степени снижается до уровня сплавов с пониженным содержанием (0,65–0,85 %) углерода. В результате последние обладают лучшим сочетанием горячей абразивной износостойкости и жаростойкости и превосходят свойства чугунов (ЧХ28Н2 и ЧХ24Л). Таким образом, разработанный безникелевый жаростойкий сплав с меньшим содержанием хрома является серьезной альтернативой дорогостоящим чугунам и сталям и эффективным их заменителем.

Для ряда деталей насосного оборудования используются коррозионно-стойкие стали аустенитного класса 12Х18Н9Л, 12Х18Н10ТЛ, аустенитно-ферритного и феррито-аустенитного классов марок 08Х22Н6Т, 08Х18Г8Н2Т, которые содержат от 2 до 11 % остродефицитного никеля, что сдерживает их порой необоснованное использование. Основную часть запасных деталей, используемых для ремонта насосов, составляют рабочие колеса, аппараты направляющие, отводы. Их износ происходит вследствие перемещения в процессе работы значительного количества перекачиваемой среды, насосы оказываются под разрушительным гидроабразивным воздействием движущихся в потоке твердых частиц песка, грунта, продуктов коррозии.

В целях экономии никеля и эффективной замены указанных сталей при сохранении достаточной коррозионной стойкости и повышения механических и эксплуатационных свойств нами разработаны безникелевые коррозионно-стойкие стали аустенитно-ферритного класса с метастабильной аустенитной фазой [7, 8]. Метастабильность обуславливает протекание $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ, что значительно повышает весь комплекс механических свойств (табл. 1).

Табл. 1

Механические свойства разработанных безникелевых и звестных хромоникелевых коррозионно-стойких сталей

Марка стали	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KCV, МДж/м ²	KCU, Дж/м ²
08X18Г6СФ	990–1240	475–490	30–39	20–38	>3,75	-
08X22Г6СФ	700–990	485–510	40–46	50–67	2,5–3,5	-
20X18Г9С2ДЛ	760–810	520–600	28–33	27–35	-	3,7
08X22Н6Т [9]	680	410	40	45	-	2,5
08X18Г8Н2Т [9]	600	350	2	0	-	-
10X18Н9Л (ГОСТ 977-88)	441	177	25	35	-	0,98

Разработанные экономнолегированные стали значительно превосходят известные по прочностным показателям и ударной вязкости при сопоставимой пластичности не только в горячедеформированном, но даже и в литом состояниях. Они рекомендуются для изготовления и ремонта насосов погружных и центробежных, которые применяются для перекачки воды речной, водопроводной, технической, морской плотностью до 1200 кг/м³ с температурой до +40 °С водородным показателем рН 5,4–9, общей минерализацией до 250 г/л, а также для сред средней и слабой агрессивности (раствор технического аммиака, моноэтаноламина и др.). Разработанные стали не уступают по долговечности известным дефицитно-легированным сталям, приведенным выше, и являются эффективными их заменителями.

Для деталей шламовых насосов, предлагается замена коррозионно-стойкого чугуна ЧХ28Н2 и стали 75Х28Н2СЛ на разработанные сплавы, безникелевые и с меньшим содержанием хрома. Для конкретных условий их эксплуатации подбирается химический состав чугуна или стали, а также технологический режим термической обработки.

Для восстановления электродуговой наплавкой изношенных цапф сталеразливочных ковшей, ходовых колес мостовых кранов разработаны порошковые наплавочные ленты ПЛ-Нп-10Х10АГ8МФДБ-А-Ф (ПЛН-4) и ПЛ-Нп-20Г14АФ-А-Ф (ПЛН-6) [10], содержащие некоторые дефицитные компоненты — молибден, ниобий, медь, металлический и азотированный марганец. С целью экономии указанных выше дефицитных ингредиентов, снижения себестоимости наплавочного материала и одновременного повышения эксплуатационных свойств на основе проведенных исследований разработана новая наплавочная порошковая лента ПЛН-7 [11], не содержащая указанных компонентов. Относительная износостойкость металла, на-

плавленного лентой ПЛН-7 оптимального состава в 1,5 раза выше, чем лентой ПЛН-6 и в 3,9 раза выше, чем лентой ПЛН-4, что объясняется оптимальным и более эффективным развитием $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ. Дополнительный эффект в повышении износостойкости металла, наплавленного лентой ПЛН-7 дает высокий отпуск при температурах 600–650 °С упрочняющий и, одновременно, дестабилизирующий аустенит вследствие выделения карбидов. Попутно он решает задачу уменьшения величины внутренних напряжений в наплавленном слое, что повышает надежность и долговечность деталей. Производственные испытания ходовых колес тяжело нагруженных мостовых кранов мартеновского цеха разработанной лентой ПЛН-7 показали повышение их долговечности в 1,5–1,6 раза в сравнении с колесами наплавленными лентой ПЛН-6. Производство наплавочного материала ПЛН-7 и технология восстановления наплавкой им изношенных колес мостовых кранов освоено в ПАО «Азовмаш» со значительным экономическим эффектом.

Разработана новая экономнолегированная порошковая наплавочная проволока на Fe-Cr-Mn основе [12]. Электродуговой наплавкой обеспечивается формирование метастабильного металла аустенитного, аустенитно-мартенситного или мартенситно-аустенитного структурных классов в зависимости от содержания легирующих элементов, влияющих на точки Мн и Мк и технологических параметров. Реализация эффектов самоадаптации и самоупрочнения наплавленного металла в процессе изнашивания вследствие развития $\gamma \rightarrow \alpha'$ ДМПИ, обеспечивает повышенный комплекс механических и эксплуатационных свойств наплавленного металла. Для разных условий эксплуатации, фазовый состав, структура и метастабильность аустенита регулируются разработанными режимами дополнительного легирования при наплавке из флюсующее-легирующей

смеси [13], способами цементации, термической (закалка, отпуск), термоциклической, плазменной [14] обработок наплавленного металла. Эта проволока и технология наплавки рекомендованы для использования на металлургических комбинатах «Азовсталь» и имени Ильича при восстановлении проводок шаропрокатного стана (рис. 4), валков пильгерстана, роликов рольгангов и др. быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования.

Для ряда деталей оборудования, работающих в условиях ударных нагрузок в сочетании с ударно-абразивным износом, которые изготавливаются из стандартных конструкционных сталей, разработаны режимы изотермической закалки [15]. Они обеспечивают формирование структуры нижнего бейнита с повышенным количеством 27–35 % метастабильного Аост, способного к развитию $\gamma_{\text{ост}} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ и реализации эффекта самоупрочнения в процессе работы деталей или инструмента.

В результате значительно повышается комплекс механических свойств сталей, например 55С2 и 60С2 ($\sigma_{\text{в}}=1500\text{--}1950$ МПа, $\sigma_{0,2}=1290\text{--}1500$ МПа, $\delta=13\text{--}14$ %, $\psi=20\text{--}56$ %, КСЧ=0,42–0,7 МДж/м²) и износостойкость. В частности, для пневмозубил, изготавливаемых в ПАО «Азовмаш» из сталей 6ХС и 60С2 на основе результатов исследований был разработан режим изотермической закалки с температурой изотермической выдержки при 250–300 °С и оптимальной продолжительности с учетом масштабного фактора. В результате долговечность пневмозу-



Рис. 4. Внешний вид наплавленных проводок шаропрокатного стана

бил, термически обработанных по новой технологии увеличилась в 2 раза.

Наиболее ответственными и наименее долговечными деталями распределительных корпусов гидросистемы прессов, являются впускные и сливные клапана и седла клапанов, которые изготавливают из нержавеющей сталей 20Х13, 30Х13. Они работают в сложных условиях многократно повторяющихся соударений рабочих предварительно притертых поверхностей фасок контактирующих деталей, кавитации и коррозионного воздействия, а присутствующие в воде абразивные частицы (окалина, твердые песчинки, грязь) усиливают износ. Для этих деталей разработаны режимы закалки ТВЧ (для некоторых клапанов закалки с печным нагревом) при повышенных температурах, обеспечивающих сохранения наряду с высокодисперсным мартенситом закалки повышенного количества (25–30 %) Аост [16]. В результате в процессе эксплуатации клапанных пар реализуется эффект деформационного самоупрочнения (самозакалки) благодаря постепенному развитию $\gamma_{\text{ост}} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ в рабочем слое контактирующих поверхностей. Эта технология позволила повысить долговечность клапанов в 11 раз и внедрена в ПАО «Азовмаш».

Инструментальные стали Х9Ф, Х10Ф с пониженным содержанием хрома специально разрабатывались для режущих шорошечных дисков горнопроходческих комплексов, которые после разработанных режимов закалки содержали определенные количества (10–16 %) Аост наряду с мартенситом закалки. Освоено изготовление биметаллических дисков с рабочей частью из сталей Х12МФ, Х9Ф, 9Х4ВФ методом электрошлакового переплава и центробежного литья. Отработана технология термической обработки, обеспечивающая повышение комплекса механических свойств и износостойкости благодаря оптимальному развитию $\gamma_{\text{ост}} \rightarrow \alpha'$ ДМПИ [17]. Промышленные испытания породоразрушающих дисков горнопроходческих комплексов, проведенные «БАМтоннельстроем» при проходке Северомуйского тоннеля Байкало-Амурской магистрали (Россия), показали эксплуатационную стойкость сталей Х9Ф и Х10Ф на 35–40 % выше, чем стали Х12МФ. Это соответствует долговечности более дорогих дисков производства фирмы «Вирт» (Германия) и других зарубежных аналогов [18], а диски из стали 9Х4ВФ имеют на 10 % большую стойкость, чем из сталей Х9Ф и Х10Ф.

Стали типа Х12Ф1 и Х12М после разработанных режимов закалки с температур 1100–1150 °С

содержат повышенное количество (40–70 %) Ауст наряду с мартенситом закалки и карбидами Cr₇C₃, Cr₂₃C₆. На Болшевском комбикормовом заводе (Московская обл., Россия) были проведены испытания опытно-промышленной партии молотков дробилок зерна из стали X12M термообработанных по оптимальному режиму. Они показали повышение их стойкости в 2–2,5 раза в сравнении с серийно выпускавшимися закаленными молотками из стали 30ХГСА, что объясняется развитием гост®аф ДМПИ. Образование мартенсита деформации в поверхностном слое молотков показано на рис. 5.

Предложена замена материала фильер из быстрорежущих сталей типа P18, P6M5 правильно-отрезного автомата ИБ122А, используемого для рихтовки и выравнивания из бунтов стальной арматуры, на менее дорогие стали типа X12Ф1 и X12М. Для этих сталей рекомендуются оптимальные режимы закалки с повышенных температур 1150–1200 °С и среднетемпературного отпуска, обеспечивающих сохранение в структуре 60–65 % метастабильного Ауст, развития гост®аф ДМПИ и как результат эффекта самоупрочнения при эксплуатации. Об этом свидетель-

ствует повышение твердости в местах контакта фильеры с арматурой в процессе эксплуатации на 2,5–5 HRC.

В результате долговечность фильер возросла в 1,5 раза в сравнении со сталью P18 и в 15–30 раз в сравнении с закаленными сталями типа 40Х, 50Х [19].

Проведен также комплекс исследований по оптимизации состава марганцовистых сталей типа стали Гадфильда [20], а также по разработке режимов обезуглероживающей закалки [21] для обеспечения деформационной фазовой метастабильности и реализации гост®аф ДМПИ. Это обеспечило значительное в 2–2,5 раза повышение долговечности бил дробилок шихтовых материалов и может быть рекомендовано для многих других деталей из высокомарганцовистых и высокохромистых износостойких сталей.

Таким образом, на основе многолетних исследований предложены новые метастабильные материалы и новые технологии термической обработки и наплавки, обеспечивающие значительное повышение надежности и долговечности многих быстроизнашивающихся деталей разнообразного механического оборудования металлургических и машиностроительных предприятий.

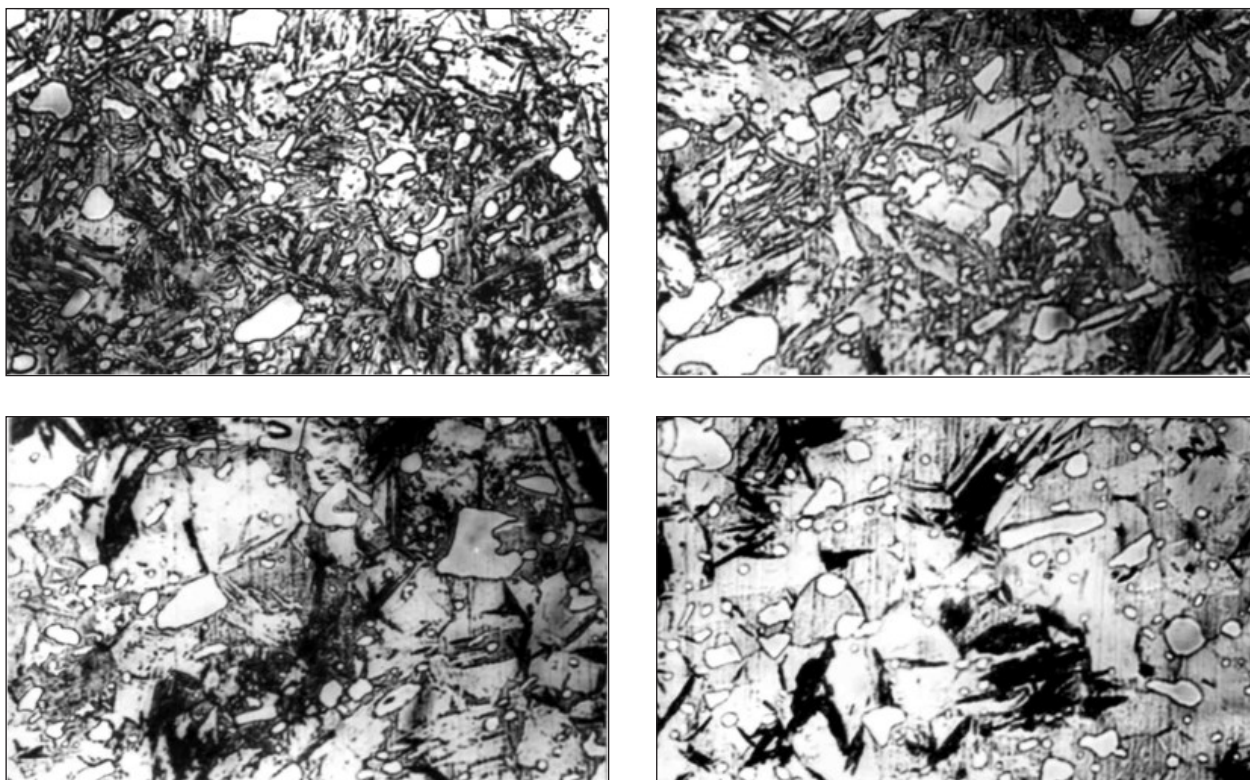


Рис. 5. Изменение микроструктуры молотков из стали X12M от поверхности (верхний снимок) к центру (нижний снимок) после эксплуатации, ×700

Список использованных источников

1. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. - М.: Металлургия, 1972. -176 с.
2. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. - М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.
3. Чугун: Справочник / Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова.- М.: Металлургия, 1991.- 576 с.
4. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 483 с.
5. Жаростійка сталь: патент № 23183 (Україна) МКВ С22С 38/24; // Л.С. Малинов, О.П. Чейлях, О.Ф. Ткачов та інш.- (Україна) № 96083338; Заявл. 23.08.96; Опубл. 15.09.2000. Бюл. № 4.- 4 с.
6. Литий жаростійкий сплав. патент на винахід № 80498 (Україна), МПК С22С 36/28, 38/38, 38/50, 37/06, 37/10; // О.П. Чейлях, С.В. Прекрасний, В.В. Кліманчук, П.М. Кирильченко та інш. – (Україна), № а 200604628; Заявл. 25.04.2006; Опубл.25.09.2007, Бюл. № 15.
7. Сталь: патент № 18012А Украина. МКИ С22С 38/38 /А.П. Чейлях, Л.С. Малинов, С.Н. Гоголь, А.Б. Гоголь (Украина). - № 96020748; заявлено 27.02.96; опубл. 17.06.97; Бюл. № 5.- 4с.
8. Чейлях А.П. Гавриленко Г.В. Структура и механические свойства новых безникелевых коррозионностойких сталей аустенитно-ферритного класса // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. научн. тр. –Мариуполь, 1999, Вып. 8.- С. 76-79.
9. Ульянов Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. - М.: Металлургия, 1991. - 256 с.
10. Новый наплавочный материал на Fe-Cr-V основе для повышения долговечности ходовых колес мостовых кранов / Л.С. Малинов, Е.Я. Харланова, А.А. Колечко // Сварочное производство.- 1988.- № 9.- С. 18-20.
11. Разработка и исследование новой порошковой ленты для наплавки колес мостовых кранов/ Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Я. Харланова и др. // Сварочное производство.- 1995.- № 10.- С. 22-25.
12. Чейлях Я.А., Чигарев В.В. Структура и свойства наплавленной износостойкой Fe-Cr-Mn стали с регулируемым содержанием метастабильного аустенита // Автоматическая сварка, 2011, №8.- С. 20-24.
13. Спосіб електродугового наплавлення: патент на винахід № 101287, МПК В23К 9/04 // Я.А. Чейлях, В.В. Чигарев, Г.В. Шейченко (Україна) №а201205829; заявл. 14.05.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. 5.
14. Повышение износостойкости наплавленного Fe-Cr-Mn металла плазменной обработкой с получением метастабильной структуры / Я.А. Чейлях, В.В. Чигарев, Г.В. Шейченко и др. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2013, т. 35. - №8. – С. 1045-1059.
15. Влияние изотермической закалки на количество, стабильность остаточного аустенита и свойства конструкционных сталей / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Е.Я. Харланова и др. // МиТОМ.-1989.- № 12.- С. 12-16.
16. Чейлях А.П., Малинов Л.С., Лейко Н.Г. Повышение долговечности клапанов из стали 20Х13 скоростной высокотемпературной закалкой // Металлург. и горноруд. пром-сть.- 1993.- № 3.- С. 27-29.
17. Влияние состава и термообработки на структуру и свойства литых хромистых сталей / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, Г.И. Макмак и др. // Изв. ВУЗов. Чер. металлургия.- 1994.- № 11.- С. 43-45.
18. Повышение долговечности режущих дисков горнопроходческих комплексов/ Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, С.И. Кантор, С.М. Фучило // Литейное производство.- 1993.- № 7.- С. 11-12.
19. Чейлях А.П., Прекрасный С.В., Щетинин С.Д., Сущенко В.П. Повышение долговечности фильер с использованием метастабильных состояний в хромистых инструментальных сталях // Металл и литьё Украины.- 2003.- № 11-12.- С. 33-34.
20. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии. – Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2007. – 352 с.
21. Чейлях А.П., Чейлях Я.О., Куцомеля Ю.Ю. Гарт сталі 110Г13Л із знеуглецюванням аустеніту // Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: Збірка матеріалів. Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – С. 10-12.