

УДК 621.874

**А.М. Руднев, доцент, канд. техн. наук,****В.А. Попов, В.А. Гудошник***Запорожский национальный технический университет**ул. Жуковского 64, г. Запорожье, Украина, 69063**E-mail: rudnev\_53@mail.ru***ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ***Рассматриваются задачи определения фактического состояния элементов металлоконструкций с целью прогнозирования остаточного ресурса.***Ключевые слова:** *металлоконструкция, коэрцитивная сила, остаточный ресурс.*

На протяжении многих десятилетий диагностика крановых металлоконструкций строилась на понятиях и критериях «наличия – отсутствия» дефектов, их размеров и количества, т.е. в основу работоспособного состояния оборудования закладывались «дефектоскопические критерии» без оценки напряжённо-деформированного состояния металлоконструкции и определения причин предельного состояния объекта.

*Цель исследований* – оценка напряжённо-деформированного состояния сварных металлоконструкций в процессе проведения технической диагностики грузоподъемных кранов становится актуальнее. Темпы старения парка кранов Украины значительно опережают темпы технического перевооружения. В таблице 1 представлены данные о количестве объектов, зарегистрированных в органах Госгорпромнадзора в период с 01.01.2003 по 01.01.2010 гг. [1, 2]. Особенно эта тенденция просматривается на примере мостовых кранов (рисунок 1).

Таблица 1 – Количество грузоподъемных кранов в Украине в период с 01.01.2003 г. по 01.01.2010 г.

	Грузоподъемные краны				
	Всего	Стреловые самоходные краны	Мостового типа	Башенные	Портальные
2003	96347	50716	37177	5800	1101
	67820	35661	27633	4811	929
2004	90273	48826	34903	5396	1112
	69654	35901	27851	4653	949
2005	91256	48898	35693	5175	1081
	72013	36792	28321	28321	947
2006	90083	43455	34902	5018	1098
	71960	37961	28418	4438	944
2007	90966	49528	34690	5090	1104
	72902	38190	28754	4406	956
2008	93089	49571	37308	5336	1111
	75374	36761	30952	4461	972
2009	91865	50202	35231	5357	1106
	75139	39495	31077	4519	974
2010	93009	49938	36963	5329	1108
	77379	39268	32488	4497	981

Примечание: 1. Верхней цифрой обозначено общее количество объектов, нижней – объекты, которые отработали установленный срок службы.

2. В таблицу не включены краны, которые не подлежат регистрации в территориальных органах Госгорпромнадзора.

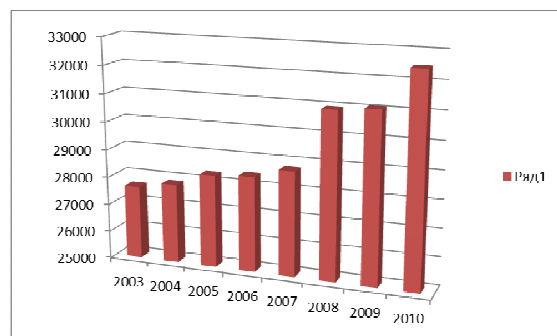


Рисунок 1 – Гистограмма изменения количества мостовых кранов, которые отработали установленный срок службы, в период с 2003 по 2010 гг.

В качестве одного из направлений решения этой проблемы получила распространение практика магнитной диагностики металлоконструкций подъёмных сооружений на основе измерения магнитной характеристики металла – коэрцитивной силы ( $H_C$ ). В основу данного метода неразрушающего контроля (МТк) положены корреляционные зависимости между механическими свойствами металла и одним из основных физических параметров петли магнитного гистерезиса – коэрцитивной силой,  $H_C$  (А/см), как наиболее чувствительной к изменению плотности дислокаций структуры стали [3].

Прирост величины коэрцитивной силы при появлении напряжений в металле относительно исходного состояния поставки  $H_C^0$  и до состояния разрушения  $H_C^B$  составляет 100–400 % в зависимости от марки металла. Такой информационной чувствительности к процессам деградации металла пока не выявлено ни у какого иного параметра неразрушающего контроля. Если металл при нагружении испытал хотя бы однократное воздействие нагрузки, превышающей значение предела текучести  $G_{0,2}$ , при последующем измерении первоначальное значение уже никогда не вернется к исходному значению  $H_C^0$ , т.к. в этой области металл переходит из области упругих (обратимых) деформаций в упруго-пластическую область диаграммы нагружения.

Значения  $H_C^0$ ,  $H_C^T$  и  $H_C^B$  являются такими же характерными значениями для каждой марки металла, как и механические характеристики  $G_{0,2}$  и  $G_B$ , а отношение прироста значений  $\Delta H_C$  к рассматриваемому интервалу времени ( $\Delta T$ ) определяет скорость накопления повреждений в структуре металла от возникающих напряжений, которая может быть описана линейной зависимостью типа  $\Delta H / \Delta T = C \times \Delta G^n$ , где  $G$  – внутренние напряжения, а  $C$  и  $n$  – свойства стали. В результате исследований [4] для традиционных малоуглеродистых и низколегированных сталей (при толщине проката 5 – 15 мм) были обобщены базовые (усреднённые) параметры контроля за состоянием металла по величине коэрцитивной силы:  $H_C^0$  – исходное значение коэрцитивной силы;  $H_C^T$  – соответствует уровню напряжений, равных физическому пределу текучести стали  $G_T (= G_{0,2})$ ;  $H_C^B$  – соответствует пределу выносливости при малоциклового усталости (МЦУ) при пульсирующем цикле нагружения.

Результаты этих исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения механических и магнитных свойств для различных сталей

Марка стали	Механические свойства			Магнитные свойства, $H_C$ , А/см			
	$\sigma_e$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$H_C^0$	$H_C^T$	$H_C^B$	$H_C^{уст.}$
Ст. 3	35	21	22	1,5	5,0	6,0	5,8
ВСт3сп	40	24	25	3,0	5,5	6,5	5,9
09Г2С	45	31	20	4,0	7,8	9,5	9,5
10ХСНД	54	40	19	5,0	11,5	14,5	13,5
Ст. 20	42	26	24	4,5	10,5	13,5	13
Ст. «ДС»	60-65	35-40	15	5-6	8,0-8,5	10-11	9,5-10,5
17Г1С	52	35	23	4,0	10,0	14,0	14,0

Нормативной базой магнитного (коэрцитиметрического) контроля (МТк) являются: Международный стандарт ИСО4301, межгосударственный стандарт ГОСТ 30415-96, методические указания РД ИКЦ «Кран» 07/97/02 (Россия), МВ 0.00-7.01-05 (Украина).

Первичные значения коэрцитивной силы  $H_C^0$ , так же, как и механические свойства, зависят от многих факторов: химического состава стали, величины зерна, наличия структурной неоднородности, состояния поставки металлопроката (горячекатаный или холоднокатаный прокат, в отожжённом или нормализованном состоянии). В методических указаниях допускается разброс значений  $H_C^0$ , например, для малоуглеродистых сталей В Ст3 – 2,3-3,2 А/см, для стали 09Г2С – 2,5-3,5 А/см, хотя, исходя из практического опыта, разброс значений  $H_C^0$  несколько шире.

Поэтому российскими коллегами ещё в 2002 г. было высказано мнение: при изготовлении крановых металлоконструкций необходимо измерять первоначальные значения коэрцитивной силы, чтобы в дальнейшем следить за изменением значений  $H_C$  для своевременного предотвращения аварийных ситуаций. Эта идея в дальнейшем была трансформирована в паспорт магнитного контроля [5], форма которого утверждена Госгортехнадзором России. На протяжении нескольких лет Харьковский

завод під'ємно-транспортного обладнання при поставках в Росію комплектував супровідну документацію паспортами магнітного контролю на крани спеціальні дуже важкого і важкого режимів роботи.

Паспорт магнітного контролю є підтвердженням гарантій заводу-виробника якості металоконструкцій в тому сенсі, що первинне стан сварної конструкції відповідає вимогам надійної експлуатації (по ІСО 4301) з точки зору сварочних напружень.

Згідно принципу неопределённости і положенням теорії академіка Седова «середні значення коєрцитивної сили не можуть однозначно характеризувати як накоплення пошкоджень, так і залишковий ресурс конструкції в цілому». Це пов'язано з тим, що різні розрахункові елементи навантажуються по-різному і не мають однакової жорсткості і міцності. В той же час контроль величини  $H_C$  по «слабому ланці», т.е. по максимальним значенням  $H_C$  і швидкості їх зростання, має близьку до лінійної залежність накоплення пошкоджень і може з ймовірністю 0,95 характеризувати напружено-деформоване стан металу в залежності від терміну експлуатації і режиму навантаження.

Результати робіт дослідників і практика застосування магнітної структуроскопії при оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій при малоциклової втоми дозволила встановити усереднені зміни швидкості зростання  $\Delta H / \Delta T$  (А/см\*рік) при різних режимах навантаження [3]. Дані наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Швидкість зростання  $\Delta H_C / \Delta T$  при різних режимах навантаження

Режим навантаження		$\Delta H_C / \Delta T$ (А/см*рік)			Тр, років
		Ст3сп	09Г2С	10ХСНД	
$Q_0$	Дуже легкий	0,05	0,09	0,12	70
$Q_1$	Легкий	0,08	0,14	0,17	50
$Q_2$	Середній	0,12	0,17	0,21	40
$Q_3$	Важкий	0,16	0,22	0,28	30
$Q_4$	Дуже важкий	0,22	0,28	0,34	25

На цій основі побудовано практичне застосування магнітної структуроскопії при оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій на протязі вже більше 15 років.

Найбільше поширення для практичної роботи отримали переносні магнітні структуроскопи типу КРМ-ЦК-2м, досить прості і зручні в обслуговуванні. Рекламна компанія виробників приборів породила міф, що достатньо провести необхідні вимірювання, щоб по зростанню значень  $H_C$  оцінити напружено-деформоване стан і визначити залишковий ресурс металоконструкції, і т.п. Існує багато концепцій визначення залишкового ресурсу під'ємних споруд, і рішення цієї задачі далеко від ідеалу і простих відповідей.

В роботі Попова В.А. [3] представлено алгоритм проведення комплексу основних робіт при оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій під'ємних споруд з використанням магнітної структуроскопії в відповідності з наведеною нижче схемою (рис. 2).

З наведеної схеми видно, що без достатнього рівня підготовки спеціаліста неможливо інтерпретувати результати отриманих вимірювань  $H_C$  і тим більше визначати причини появи зазначених напружень в тій або іншій зоні металоконструкції, без чого ставити питання про прогнозування залишкового ресурсу просто безглуздо.

При підготовці спеціалістів по магнітному (коєрцитиметричному) контролю (МТкс) в Харківському атестаційному центрі по невідшкодуваному контролю ця схема покладена в основу програми навчання. Очевидно, що без базових знань по ПТМ в практичній роботі по оцінці напружено-деформованого стану металоконструкції крана неможливо отримати позитивного результату.

В відповідності з НТД по магнітному контролю [3] кількісними критеріями оцінки стану металоконструкції служать максимальні значення коєрцитивної сили  $H_C^{\max}$ . Підвищення  $H_C$  по порівнянню з початковим значенням  $H_C^0$  свідчить про зростання залишкових внутрішніх напружень і деформацій. З переходом в еластично-пластичне стан ( $H_C^{\max} = H_C^T$ ) метал починає втрачати запас пластичності, який остаточно вичерпується на стадії розриву і переходу до руйнування, коли  $H_C^{\max} = H_C^B$ . Тому весь прогнозований термін роботи під'ємного споруду (ПС) може бути розбито на етапи по ступеню накоплення залишкових деформацій і

микрповреждений в наиболее нагруженных элементах металлоконструкций. В МВ 00-7.01-05 предусмотрены три режима эксплуатации ПС:

I – режим «надёжной» эксплуатации при  $H_C^{\max} \ll H_C^T$ , когда металл работает в упругой области диаграммы нагружения и максимальные напряжения не превышают физического предела упругости стали;

II – режим «контролируемой» эксплуатации при  $H_C^{\max} \leq H_C^T$ , когда отдельные элементы работают в упруго-пластической области диаграммы нагружения, а максимальные остаточные напряжения достигают физического предела текучести стали;

III – «критический» режим эксплуатации при  $H_C^T \ll H_C^{\max} \ll H_C^B$ , когда отдельные элементы металлоконструкции работают в упруго-пластической и пластической областях диаграммы нагружения и максимальные напряжения превышают предел текучести стали, в результате чего появляются усталостные трещины.

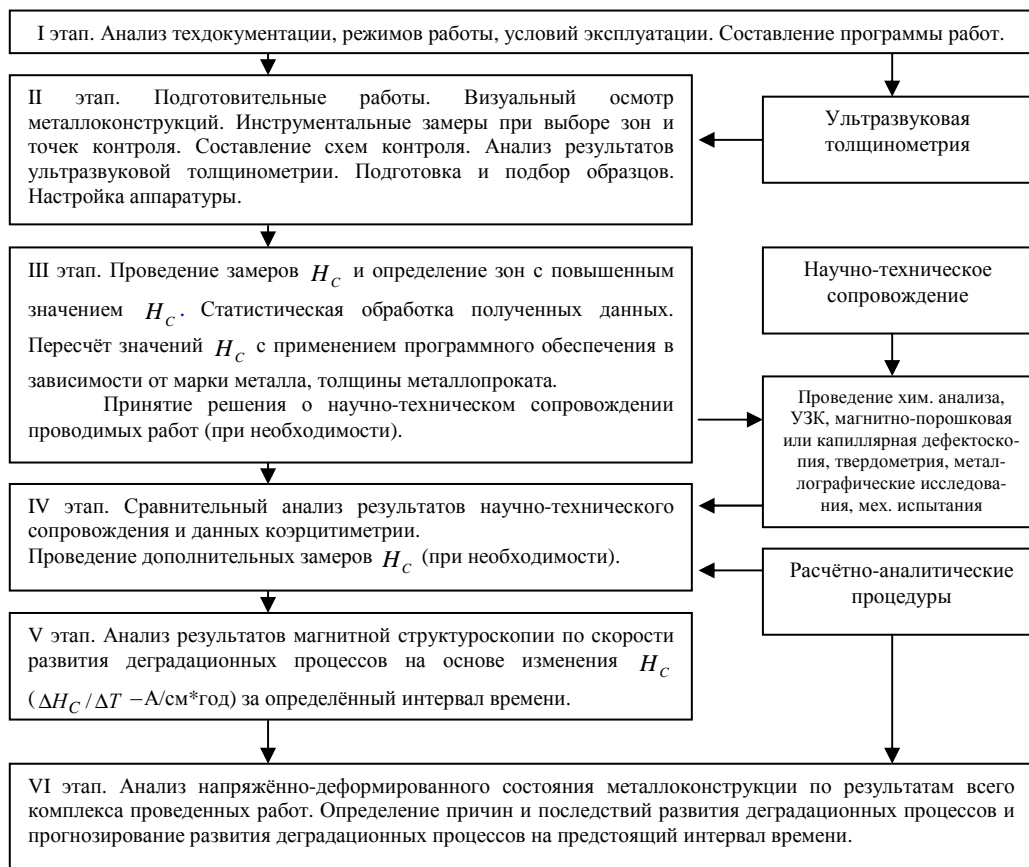


Рисунок 2 – Схема проведения работ по оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций подъёмных сооружений с применением магнитной структуроскопии

В последние годы поступают тревожные сообщения с мест эксплуатации мостовых кранов китайских производителей, которые применяют болтовые соединения для стыковки частей металлоконструкций не только концевых балок и рам тележек, но и главных балок.

Например, при оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций мостового крана г/п 90/32 т производства Шанхайского краностроительного завода (зав. № А06-12-112а, рег. 499м) после аварии после двух лет эксплуатации на ООО «Электросталь» (Донецкая обл.) на вертикальных стенках главных балок (особенно в зонах болтовых соединений) было выявлено резкое нарастание  $H_C$  до значений, близких к режиму критической эксплуатации (марка стали Q345 по стандарту GB/TB162, аналог – 14Г2АФ по ГОСТ 19281-89). Причинами сложнонапряжённого состояния металлоконструкций являются не столько имевшие место перегрузки (в 1,2-1,3 раза), сколько конструктивные недостатки.

При оценке напряжённо-деформированного состояния с применением магнитного контроля экспертам приходилось выявлять применение недопустимых в краностроении марок сталей. Так, при оценке технического состояния металлоконструкций башенного крана (производства фирмы Potain)

после аварии, в процессе проведения магнитной структуроскопии в одной из секций стрелы на всех элементах значения  $H_C$  не превышали 2,8 А/см, в других же элементах металлоконструкций стрелы минимальные значения  $H_C$  составляли 4,2-4,5 А/см. Хим. анализ подтвердил опасения специалистов: секция изготовлена из обыкновенной углеродистой стали типа G3, хотя согласно паспорту на кран должна применяться сталь E36-4 по стандарту Франции A35-501-1983 (аналог сталь 14Г2АФ-12).

Для решения вопросов по определению марок сталей в подобных ситуациях необходимо проводить спектральный анализ с применением мобильного оптико-эмиссионного спектрометра Metal Scan ASCERT (фирма «ARUN», Англия), что позволяет непосредственно на кране определить не только марку стали, но и химсостав сварного шва или околошовной зоны. В Украине только экспертная организация ООО СП «Общество технического надзора ДИЭКС» (г. Днепропетровск) располагает такими возможностями.

В начале внедрения магнитной структуроскопии «головной болью» специалистов по неразрушающему контролю была оценка напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций с толщиной элемента свыше 20 мм, что особенно важно для кранов горно-металлургического комплекса, работающих в тяжёлом и весьма тяжёлом режимах работы. При наличии признаков деградации металла в отдельных зонах (особенно возле сварных швов) показания приборов явно были занижены.

При разработке переносных коэрцитиметров разработчиками выбирались оптимальные размеры электромагнитов, чтобы глубина проникновения магнитного потока в изделие, которая задаётся сечением магнитных полюсов электромагнита ( $S_y$ ) обеспечивала возможность измерения  $H_C$  для толщины в 6-20 мм. Но и в этом случае, как показали исследования, показания приборов не пропорциональны коэрцитивной силе при изменении толщины металла. Это породило миф, что коэрцитиметрический метод контроля в принципе не пригоден для решения задач при оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций подъёмных сооружений.

С этой проблемой ещё в 70-х годах прошлого столетия столкнулись предприятия чёрной металлургии, когда на основе закономерности связи магнитных и механических свойств сталей разрабатывался метод анализа результатов магнитного контроля свойств проката в процессе его производства. На основе многолетних исследований наиболее эффективным был признан метод ступенчатой (пошаговой) регрессии, с помощью которого в дальнейшем контролировалось качество проката и труб [6].

На основе этой идеологии был разработан и внедрён метод анализа измерений коэрцитивной силы при оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций кранов с разными толщинами элементов для различных марок сталей, в т.ч. импортного производства [7].

Для решения этой проблемы применяются паспортизированные образцы из различных марок сталей со ступенчатым (пошаговым) изменением сечений с известными механическими свойствами, химическим составом, микроструктурой и значением  $H_C$  в каждом сечении образца (рисунок 3). При этом прокат каждой марки стали разделяется на группы, в т.ч. по величине зерна, состоянию поставки и термообработке.

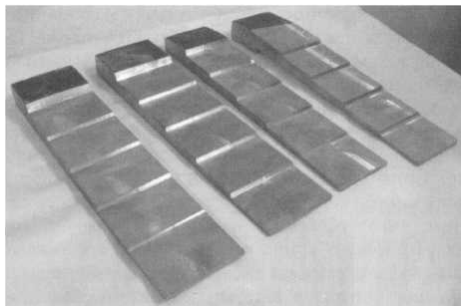


Рисунок 3 – Внешний вид паспортизированных экспериментальных образцов с переменным сечением

В результате создавался банк данных паспортизированных образцов, в т.ч. из металлопроката, вырезанного из элементов металлоконструкций на различных стадиях деградации металла, в т.ч. из зон разрушения металлоконструкций после аварий.

После математической обработки результатов измерений по методике для каждого образца определялись аппроксимирующие функции, которые положены в основу программного обеспечения интерпретации замеров  $H_C$ , получаемых на объекте [7].

Такой подход позволил не только получать более достоверные результаты при оценке напряжённо-деформированного состояния крановых металлоконструкций, но и автоматизировать сам процесс интерпретации замеров  $H_C$ , в т.ч. получать в трёхмерном графическом изображении распределение напряжений в различных зонах, как по длине конструкции (узла, элемента), так и по высоте (в сечении) каждого элемента, а в совокупности с проведёнными расчётами по методу предельных состояний (с учётом поправок на напряжённое состояние конструкции на основе замеров  $H_C$ ) можно добиться довольно полной картины напряжённо-деформированного состояния конструкции в целом.

Но даже при таком научно-техническом подходе перед экспертами остаётся трудноразрешимым наиболее сложный вопрос – прогнозирование остаточного ресурса, который без определения причин и понимания самого механизма развития деградационных процессов не может быть достоверным без комплексного подхода к решению этой проблемы.

Полученные значения  $H_C$  фактически не дают ответа на вопрос: на каком этапе жизненного цикла подъёмного сооружения и за счёт каких факторов деградации металла элементы конструкции достигли напряжённо-деформированного состояния.

Весь процесс накопления повреждений и развития деградационных процессов в металлоконструкции можно представить в виде схемы:

$$H_C^{\text{факт.}} = H_C^0 + \Delta H_C^{\text{св}} + \Delta H_C^{\text{з}} + \Delta H_C^{\text{р}} + \Delta H_C^{\text{кн}},$$

где  $H_C^{\text{факт.}}$  – значения  $H_C$ , полученные в процессе измерений (А/см);  $H_C^0$  – характеризует первоначальное значение коэрцитивной силы в металлопрокате (в состоянии поставки);  $\Delta H_C^{\text{св}}$  – прирост значений  $H_C$  от напряжений в процессе изготовления конструкции и производстве монтажных работ на объекте эксплуатации крана;  $\Delta H_C^{\text{з}}$  – прирост значений  $H_C$  в зависимости от времени и условий эксплуатации;  $\Delta H_C^{\text{р}}$  – прирост значений  $H_C$  от появления напряжений при проведении ремонтных работ с применением сварки;  $\Delta H_C^{\text{кн}}$  – отражает зависимость изменений значений  $H_C$  (по показаниям прибора) от влияния концентраторов напряжений в отдельных зонах металлоконструкции.

Известно [3], что на стадии изготовления металлоконструкции (помимо сварочных напряжений) могут быть зоны с повышенным значением  $H_C$  из-за наличия структурной неоднородности металла на отдельных участках. Такие дефекты металла, как и расслоения в металлопрокате, могут привести к разрушению конструкции уже на стадии первичных статических и динамических испытаний.

В процессе эксплуатации скорость роста  $\Delta H_C^{\text{з}} / \Delta T$  (А/см в год) зависит не только от режимов эксплуатации, но и от появления вторичных напряжений в элементах конструкции, в т.н. связанных с негативным влиянием характера взаимодействия крановых колёс с подкрановыми путями.

Непродуманные решения при ремонтных работах (с применением сварки) приводят металлоконструкцию в неремонтопригодное состояние. В таких случаях при замерах  $H_C$  появляются зоны с запредельными значениями коэрцитивной силы.

Но наиболее непредсказуемыми в процессе эксплуатации бывают случаи резкого возрастания значений  $H_C$ , связанного с нарастанием напряжений на отдельных участках из-за наличия концентраторов напряжений (при наличии дефектов металлургического или технологического происхождения), что приводит к хрупкому разрушению. Так, при оценке технического состояния металлоконструкций башенного крана (производства Changsha Zoomlion (зав. № 0207T4296, рег. № 72361) после аварии, на строительном объекте «Юбилейный» (г. Днепропетровск) в процессе проведения исследования выявлено, что раскос № 40 изготовлен из бракованной пережженной стали (рисунок 4 и 5).

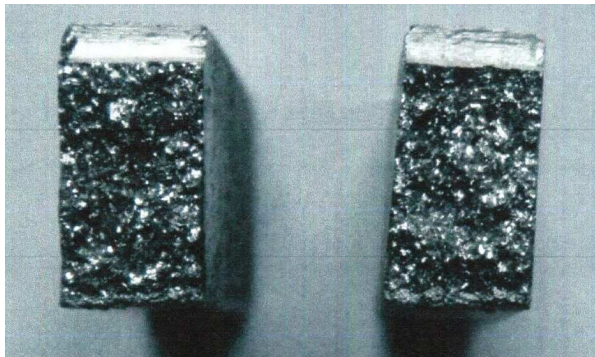


Рисунок 4 – Хрупкий излом образца – раскос № 40

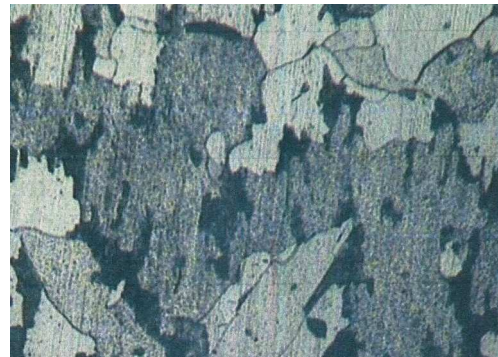


Рисунок 5 – Микроструктура металла в результате пережога при изготовлении раскоса № 40 (x 100)

По причине хрупкого разрушения происходят аварии с грузоподъёмным оборудованием, работающим в условиях циклического нагружения.

**Выводы**

1. Необходима специальная подготовка специалистов по магнитному контролю. Для анализа полученных данных и принятия решений по результатам магнитной структуроскопии необходима подготовка специалиста с базовыми знаниями конструкций ПТМ, металлостроению и механике разрушения – технического эксперта.

2. Высокие значения коэрцитивной силы – это тревожный сигнал для экспертов, задача которых состоит в том, чтобы определить причины «бедственного состояния» металлоконструкции.

3. Прогнозирование остаточного ресурса грузоподъемной машины зависит от комплексного подхода к оценке напряженно-деформированного состояния ее металлоконструкций при наличии в экспертной организации современного диагностического оборудования и приборов, а также готовности персонала применять прогрессивные технологии при проведении работ в процессе экспертного обследования и анализе полученных результатов.

Предполагается разработка нормативных требований по мониторингу напряженно-деформированного состояния металлоконструкций.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Відомості про кількість об'єктів котлонагляду і підйомних споруд в Україні станом на 01.01.2003р. // Подъемные сооружения. Специальная техника. — 2003. — № 12. — С. 16.

2. Андриенко Н.Н. Куда едем, куда поворачиваем? Пора отказаться от старых догм в подъемно-транспортной отрасли / Н.Н. Андриенко, В.Л. Корень, С.Я. Полнарв // Подъемные сооружения. Специальная техника. — 2011. — № 07–08. — С. 20–21.

3. Попов В.А. Мифы и реальность применения магнитной структуроскопии при оценке напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемных сооружений / В.А. Попов, В.А. Гудошник // Подъемные сооружения. Специальная техника. — 2012. — № 12. — С. 20–21.

4. Теория и практика магнитной диагностики и контроля остаточного ресурса металлоконструкций подъемных сооружений в России и Украине / В.С. Котельников, Б.Е. Попов, Г.Я. Безлюдько, Е.А. Левин, В.В. Зарудный // Проблемы производства и безопасной эксплуатации подъемных сооружений в Украине и России: сб. тр. науч.-практ. конф. — Одесса, 2002. — С. 232–238.

5. Паспорт магнитного контроля / В.С. Котельников, Л.И. Янов, В.А. Попов, Б.Е. Попов [и др.] // Безопасность труда в промышленности (Россия). — 2004. — № 6. — С. 20–21.

6. Михеев М.Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов. — М.: Наука, 1993. — 126 с.

7. Попов В.А. Метод анализа замеров коэрцитивной силы при технической диагностике металлоконструкций кранов с разными толщинами элементов / В.А. Попов // Неразрушающий контроль и техническая диагностика: тр. VI нац. науч.-техн. конф. — Киев, 2009. — С. 120–125.

*Поступила в редакцию 8.05.2013 г.*

**Руднев О.М., Попов В.А., Гудошник В.А. Проблеми моніторингу напружено-деформованого стану металоконструкцій підйомних споруд**

Розглядаються проблеми визначення фактичного стану елементів металоконструкцій з метою прогнозування залишкового ресурсу.

**Ключові слова:** металоконструкція, коерцитивна сила, залишковий ресурс.

**Rudnev A.M., Popov V.A., Gudoshnik V.A. Problems of monitoring the stress-strain state of lifting constructions of metal structures**

Problems of specification of the actual state of elements in metal structures to predict its residual life are considered in the paper.

**Keywords:** metal structure, coercive force, residual life.