

А. Н. КАШУБСКИЙ, Г. Г. КРУШЕНКО

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАРОК СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Представлена комплексная методика идентификации марок сплавов при входном и пооперационном контроле металлоизделий, используемых в составе высокоэнергетических силовых установок. Основу разработанной методики составляют три метода неразрушающего контроля: с помощью определения термоЭДС, вихретоковый и магнитный методы.

Ключевые слова: идентификация, сплавы, дефекты, неразрушающие методы контроля, рентгенография.

При создании сложных и наукоемких изделий, широко используемых в ракетно-космической технике, особо важное значение имеют процессы испытания и контроля, цель которых — обеспечение гарантийной надежности летательных аппаратов (ЛА) [1].

При производстве деталей, используемых в силовых агрегатах ЛА, применяется широкий диапазон сплавов, что требует проведения входного и пооперационного контроля поставляемой на предприятие металлопродукции на предмет ее соответствия технической документации.

Надежным методом идентификации сплавов мог бы стать химический анализ, однако если его проведение допустимо на исходной металлопродукции в виде заготовок, то контроль готовых изделий таким методом не представляется возможным вследствие нарушения их целостности. В связи с этим для идентификации марок сплавов применяются экспресс-методы

неразрушающего контроля. В настоящее время насчитываются десятки таких методов, однако предпочтение отдается тем из них, которые выполняются с помощью малогабаритных приборов.

В настоящей статье представлены результаты выполненных в производственных условиях исследований по разработке комплексной методики идентификации марок сплавов, а также по выявлению дефектов в литых деталях с помощью рентгенографии.

Для достижения поставленной цели были предприняты следующие действия:

— произведена классификация сплавов, обладающих близкими физическими характеристиками;

— проанализированы и усовершенствованы применительно к конкретному производству существующие методики проведения неразрушающего контроля, используемые для идентификации марок сталей и сплавов, их физико-механических свойств и структур;

— усовершенствована система контроля качества термической обработки деталей и сборочных единиц с учетом их физико-механических характеристик.

В результате были выбраны три метода неразрушающего контроля: с помощью определения термоЭДС, вихретоковый метод и магнитный. Однако их раздельное применение не во всех случаях обеспечивает точную идентификацию марок сплавов, в связи с чем была разработана комплексная методика, позволяющая идентифицировать марки, структуры и физико-механические свойства сталей и сплавов, используемых в силовых агрегатах. Кроме того, разработана методика выборочного неразрушающего входного контроля поступающей на предприятие металлопродукции, а также пооперационного контроля изделий.

Удельная электропроводность немагнитных сплавов определялась вихретоковым методом: нержавеющей сталей и никелевых сплавов — с помощью прибора ВЭ-37НЦ, а алюминиевых сплавов и латуни — с помощью прибора ВЭ17-НЦ. Коэрцитивная сила на магнитных сталях измерялась с помощью структуроскопа МФ-32КЦ путем намагничивания и размагничивания локального участка металла. ТермоЭДС определялась с помощью приборов ТЭП-10К и ПКММ-2 с использованием медных, никелевых, кадмиевых и алюминиевых наконечников.

Установлено, что в результате измерения термоЭДС, электропроводности и тока размагничивания представляется возможным определить принадлежность марки стали внутри групп 20Х13Ш6 40Х13, 30ХН2МФА6 40Х, 38ХА6 95Х18, 03Х11Н10М2Т, 12Х18Н9Т, 60С2А, 10Х12Н20Т2-ВД, 08Х18Н10ТМ, 25Х17Н2Б, 07Х16Н6 и 12Х21Н5Т.

Было проведено сравнение деталей из сталей 12Х18Н10Т-ВД и 10Х12Н20Т2, термообработанных путем измерения термоЭДС. Результаты термообработки деталей из стали 10Х12Н20Т2 (закалка при 1000 ± 10 °С, охлаждение водой, старение при 730 ± 10 °С, выдержка от 15 до 16 ч, охлаждение воздухом) позволяют сделать вывод о возможности различать марки деталей, изготовленных из указанных сталей.

Определение коэрцитивной силы H_c (пропорциональной току размагничивания) и термоЭДС E для термообработанных сталей производилось с целью оценить возможность идентификации структуры термообработанной стали мартенситного класса. При этом был произведен перегрев образцов выше температуры аустенитного превращения. При температуре, превышающей 1200 °С, происходит стабилизация аустенита, рост размера зерна и растворение избыточных карбидов Сг. При токе размагничивания 50 мА и более возможна идентификация режима термообработки стали 95Х18.

Равнораспределенные значения термоЭДС не позволяют идентифицировать процесс стабилизации аустенитной фазы для стали 95Х18, разброс значений при этом составляет от 0,44 до 2,06 мВ. Чувствительность метода определения термоЭДС недостаточна для идентификации фазового состава указанного материала.

Для интегральной оценки свойств металла в локальном объеме была установлена взаимосвязь между механическими свойствами металла, его структурой и результатами, получен-

ными при неразрушающем контроле каким-либо из методов. Детали, изготовленные из стали 95X18, были подвергнуты термообработке в следующем режиме: нагрев до 1050 ± 20 °С с последующей закалкой в масле → криогенная обработка (от -80 до -60 °С) в смеси ацетон/спирт + жидкий азот → отпуск детали. Оказалось, что структура, а следовательно, и связанные с ней механические свойства, в значительной степени определяются температурой отпуска детали.

Полученные результаты для стали 95X18 (рис. 1) показывают, что с повышением температуры отпуска (T) от 150 до 550 °С значение H_c несколько уменьшается, а в интервале от 550 до 600 °С происходит его резкое снижение. Характер изменения твердости HRC совпадает с изменением H_c , что свидетельствует о корреляции этих параметров в исследуемом температурном диапазоне. Снижение твердости является следствием превращения мартенситной структуры стали 95X18 в перлитно-карбидную. Значение временного сопротивления разрушению σ , связанного (согласно ОСТ 92-1311-77) с изменением твердости, может быть также определено с помощью измерения H_c .

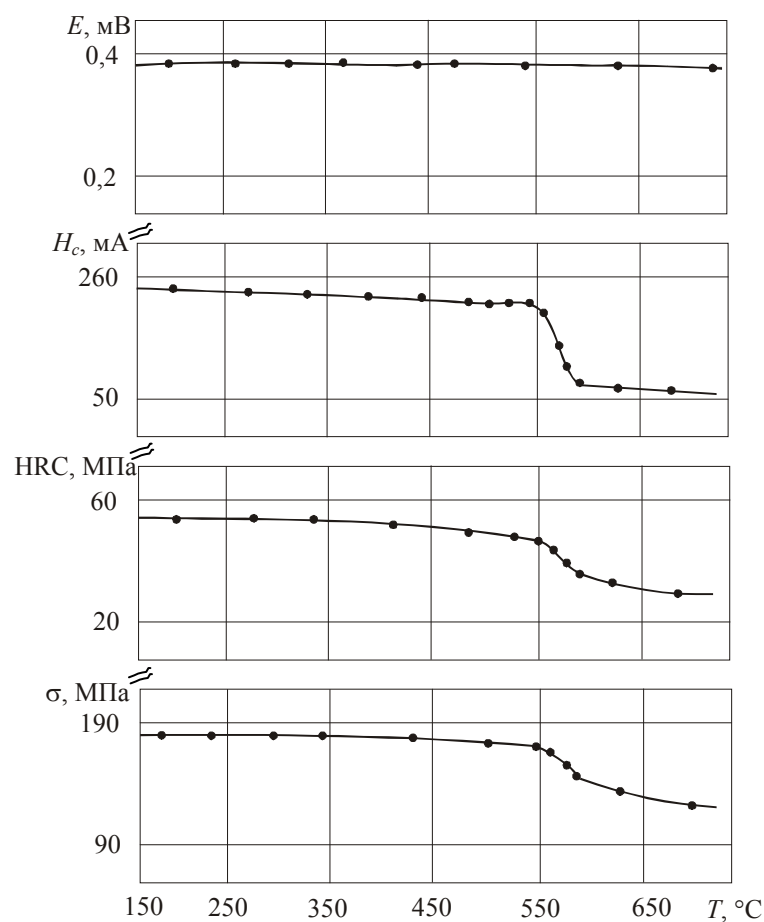


Рис. 1

В результате исследований было установлено, что метод контроля с помощью определения термоЭДС обладает наибольшей чувствительностью к химическому составу материала и практически не имеет ограничений, связанных с геометрическими размерами деталей. Метод определения удельной электропроводности сплавов применяется при контроле немагнитных материалов, а метод измерения коэрцитивной силы — при контроле магнитных сталей; при определении химического состава стали эти методы используются как дополнительные.

Разработанная на основе полученных данных комплексная методика (рис. 2) рекомендуется для идентификации марок сталей аустенитного, ферритного, аустенитно-мартенситного и мартенситного классов при входном и пооперационном контроле изделий.

Качество деталей зависит не только от того, как соблюдаются требования к химическому составу сплава [2], но и от наличия в них внутренних дефектов, что особенно важно для литых корпусных деталей, представляющих собой достаточно массивные изделия. В процессе затвердевания металла в их объеме возможно образование различного рода дефектов (включений, раковин газового и усадочного происхождения, трещин и др), которые в случае их невыявления могут привести к возникновению аварийной ситуации даже при кратковременной эксплуатации силовой установки.

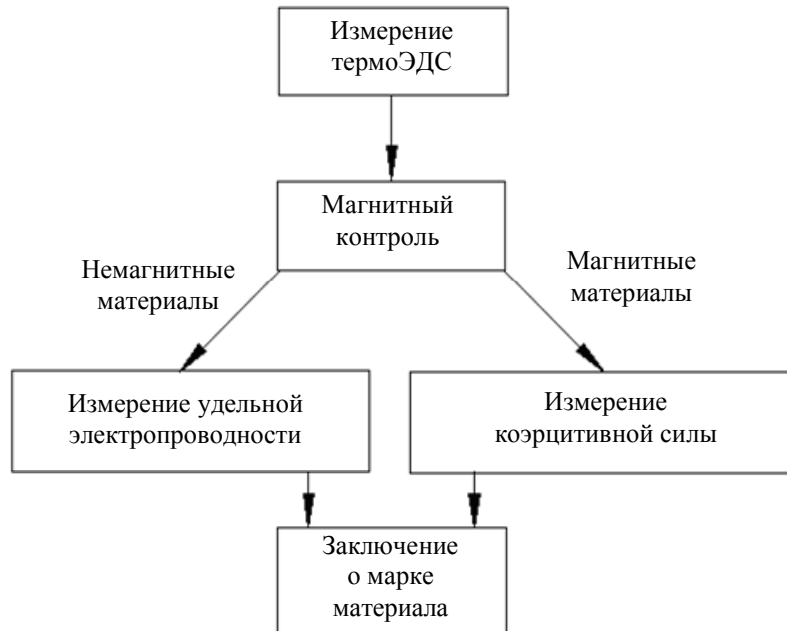


Рис. 2

Одним из эффективных способов обнаружения таких дефектов является рентгенография [3]. В производственных условиях применяется следующая техника рентгенографии. Отливка с помощью специальных приспособлений устанавливается внутри изолированного свинцовым листом бокса. Внутри отливки помещается рентгеновская пленка. Режим просвечивания (длительность экспозиции и мощность излучения) устанавливается в зависимости от вида сплава и толщины стенки отливки. После просвечивания пленка проявляется и исследуется на предмет наличия дефектов, которые фиксируются в виде темных пятен. Для уточнения местонахождения дефекта на участок отливки (с помощью пластилина) прикрепляется свинцовая „метка“ (крестик), и этот участок повторно просвечивается. Ввиду того что рентгеновские лучи не проходят сквозь свинец, метка фиксируется на пленке в виде белого крестика. После установления точных координат и контуров дефекта в этом месте осуществляется вырубка металла на нужную глубину, место вырубки зачищается и производится его „заварка“, затем деталь снова просвечивают в целях гарантии устранения дефекта. Окончательная пригодность деталей проверяется при испытаниях на герметичность.

Такая технология была применена, например, при работе с литой деталью турбонасосного агрегата (<http://www.yuzhmash.com/ru/product.php?page=uzliavto>). При отработке технологии измерялась электропроводность заваренных участков и литого материала отливки в целях проверки химического состава наплавленного материала.

Аналогичная технология применяется для выявления литейных дефектов в отливках корпуса коробки перемены передач автомобилей, производимых фирмой “Nissan Casting Australia Pty Ltd” [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шолом А. М., Борисова Е. В., Бирюков Д. А. Повышение качества контроля сложных технических систем // Технология металлов. 2009. № 4. С. 35—40.
2. Кашубский А. Н., Крушенко Г. Г. Идентификация марок сталей и сплавов инструментальными методами // Технология машиностроения. 2005. № 9. С. 15—17.
3. Русаков А. А. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат, 1977. 480 с.
4. Tian C., Law J., J. van der Touw et al. Effect of melt cleanliness on the formation of porosity defects in automotive aluminium high pressure die castings // J. of Materials Processing Technology. 2002. Vol. 122, Is. 1. P. 82—93.

Сведения об авторах

- Александр Николаевич Кашубский** — канд. техн. наук; ООО „Независимый инженерный центр технической диагностики, экспертизы и сертификации“ — „Регионтехсервис“, Красноярск; нач. отдела; E-mail: nicka7@yandex.ru
- Генрих Гаврилович Крушенко** — д-р техн. наук, профессор; Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск; E-mail: genry@icm.krasn.ru

Рекомендована ОАО „ИСС“

Поступила в редакцию
19.11.10 г.