



*The article provides all information necessary to widen the use of high-carbon ferrous alloys of complex composition as materials resistant to abrasive wear.*

М. И. КАРПЕНКО, ГГТУ им. П. О. Сухого,  
Е. И. МАНУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси

## ИЗНОСОСТОЙКИЕ ОТЛИВКИ ИЗ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

УДК 621.74:669.13-27

Повышение надежности и долговечности литых деталей машин и механизмов, инструментальной и технологической оснастки, работающих в условиях интенсивного механического, ударно- или гидроабразивного износа, в большинстве случаев связано с созданием и использованием сложно- или высоколегированных сталей и Fe—C-сплавов и оптимальных режимов их термической обработки. Особенно трудно решаются задачи повышения надежности и долговечности таких деталей, как калибры и валки прокатных станов, бандаж валковых дробилок, ковши экскаваторов, футеровки и мелющие тела рудо- и углеразмельных мельниц, склизы, тетки и лопасти дробебетных импеллеров, выпускные коллекторы и многие детали гидротурбин, классификаторов и насосов.

Решая задачи повышения износостойкости, надежности и долговечности быстроизнашиваемых деталей, необходимо учитывать вопросы экономики дорогостоящих легирующих компонентов, таких, как Ni, Cu, W, Ta, Mo и др. Изменение химического состава, скорости кристаллизации и режима термической обработки отливок существенно влияет на структуру и фазовый состав износостойких сплавов, а, следовательно, и на комплекс служебных свойств. К числу нежелательных процессов, происходящих в износостойких изделиях и нарушающих стабильность их оптимальной структуры, относятся укрупнение карбидов, рекристаллизация и другие необратимые превращения, приводящие к огрублению фаз и структур [1].

Для большинства износостойких деталей оптимальной может быть такая гетерогенная структура, которая при изменении внешних термодинамических параметров (давление, температура или концентрация компонентов) под влиянием механических или тепловых импульсов, а также под воздействием диффузионных процессов между поверхностью трущегося тела, контртелом и средой быстро может упрочниться или перестроиться в другую, более выгодную для данного этапа

работы на трение. Такие квазиравновесные структуры обеспечивают литым изделиям длительную работоспособность, но они изучены и используются недостаточно.

В настоящее время из группы триботехнических материалов, используемых для работы в условиях ударно-абразивного и кавитационно-эрозионного износа, более полно изучена и широко используется аустенитная сталь марки 110Г13Л. После термической обработки закалкой с температурой 100°C в воде эта сталь имеет  $\sigma_b = 800\text{--}1000$  МПа, КСЧ=20—30 Дж/см<sup>2</sup> и НВ 190—220. В условиях интенсивного трения в ней проявляется эффект наклепа и твердость повышается до НВ 300—450. Износостойкость при коррозионно-механическом изнашивании составляет 1,12—1,6 мкм/ч. Однако в условиях кавитационно-эрозионного, гидро- и ударно-абразивного износа эта сталь имеет недостаточную долговечность. Например, футеровки и рабочие органы дробилок и рудоразмельных мельниц из стали 110Г13Л полностью изнашиваются после дробления 750—1050 м<sup>3</sup> щебня.

Для повышения надежности и долговечности литых деталей, работающих в условиях ударно-абразивного и коррозионно-механического износа (билы молотковых мельниц, бандаж и рабочие органы дробилок, клыки роторных экскаваторов, рабочие детали брикетировочных прессов), предложено изготавливать их из чугунов доэвтектического состава с карбонитридным упрочнением, содержащих 2,0—3,2% С и 0,5—1,5% Si и комплексно-легированных Mn, N, Al, Cr, V и другими карбидо- и нитридообразующими элементами [2—5]. Установлено упрочняющее и диспергирующее влияние на структуру литого металла нитридов ванадия и алюминия, карбонитридов хрома и ниобия, боридов и нитридов титана и циркония. Существенное повышение износостойкости и долговечности литых деталей получено при использовании азотированной лигатуры с ниобием Н6ВА (ТУ 43-9514-31-84) [3], азотированной лигатуры типа АВТУ (ТУ 48-4-441-83) и лигатуры для чугуна с карбонитридами хрома [6]. Билы

молотковых мельниц и мелющие цилиндры из аустенитного износостойкого чугуна, содержащего 0,03—0,07 % боридов циркония и 0,05—0,2 % нитридов алюминия, обладают меньшим коррозионно-механическим износом, чем из стали 110Г13Л, при хороших значениях удароустойчивости (0,28—0,76 %) при испытании цилиндров на центробежно-метательной машине в соответствии с ГОСТ 24384-80.

Высокими характеристиками механических свойств и долговечности в условиях ударно-абразивного и коррозионно-механического изнашивания обладают белые чугуны, содержащие, мас. %: Cr — 12—18; Mn — 1,3—7,1; V — 0,5—1,3; Mo — 0,05—1,1; Ti — 0,03—0,9; Ni — 0,02—0,83; Zr — 0,02—0,8; Al или Nb — 0,1—1,0; N — 0,03—0,71; P — 0,02—0,12; S — до 0,08; PЗМ — до 0,08; остальное — железо. Механические свойства чугуна в отливках:  $\sigma_b = 420\text{—}750$  МПа; KCU = 25—38 Дж/см<sup>2</sup>; твердость — 44—61 HRC и микротвердость металлической основы  $H_{50} \cdot 10^{-3} = 3,8\text{—}5,2$  МПа. Износ при коррозионно-механическом изнашивании — 0,68—0,96 мкм/ч. После термической обработки отливок механические и служебные свойства могут быть повышены. Для оценки влияния параметров термической обработки на механические и служебные свойства отливки мелющих цилиндров и образцы диаметром 12 мм из белых чугунов ИЧХ12Г2БТА, ИЧХ15Г5ЮФА, ИЧХ15Г3МФА и ИЧХ17Г3НМцА подвергали закалке от 850 до 1200 °С с использованием различных скоростей нагрева (от 100 до 500 °С/ч) и охлаждения.

На рис. 1 показано влияние температуры закалки на твердость HRC (а) микротвердость  $H_{50}$  (б) исследованных белых чугунов и износостойкой стали марки 80Х2ГСЛ, используемой для изготовления футеровки шаровых и молотковых мельниц.

Исследования влияния температуры отпуска в диапазоне температур 200—670 °С и скорости охлаждения от температур закалки показали, что при использовании охлаждения на спокойном воздухе и отпуске чугунов при 240—300 °С и стали при 350—400 °С достигается наиболее благоприятное соотношение упругопластических и прочностных свойств. Принимая во внимание условия эксплуатации деталей при ударно-абразивном изнашивании и необходимость повышения ударной вязкости исследованных чугунов, термическую обработку износостойких отливок проводили по режиму: нагрев до 700 °С со скоростью 180—220°С/ч и далее до 1100°С со скоростью 250—350°С/ч; выдержка при 1080—1120°С в течение 0,9—1,0 ч на 25 мм толщины отливки; охлаждение на спокойном воздухе, а затем отпуск при 240—300°С.

Данные испытаний закаленных и отпущенных белых чугунов ИЧХ12Г2БТА и ИЧХ15Г3МФА на ударно-абразивное изнашивание (по ГОСТ 23.207-79) в сравнении с данными испытаний износостойких сталей 110Г13Л и 80Х2ГСЛ представлены на рис. 2. В качестве абразивного материала использовали карбид кремния черный (ГОСТ 3647-71) с размером зерна 0,63 мм. Продолжительность испытаний — 50—180 гс. В таких условиях плохо работают чугуны ИЧХ28Н2 и ИЧХ33Н3. В таблице приведены данные о режимах термообработки, структуре, механических и служебных свойствах ряда износостойких сплавов. В условиях ударно-абразивного износа более высокими эксплуатационными свойствами обладали чугуны и стали с карбонитридным упрочнением аустенитного класса. Можно предположить, что это обусловлено повышенными характеристиками упруго-пластических свойств таких сплавов по сравнению с белыми чугунами и низколегированными сталями перлитного, ледебуритного и мартенситного классов, а также способностью сплавов аустенитного класса к наклепу и упрочнению в процессе эксплуатации.

Прокаливаемость износостойких сплавов — одно из важнейших свойств, определяющих изно-

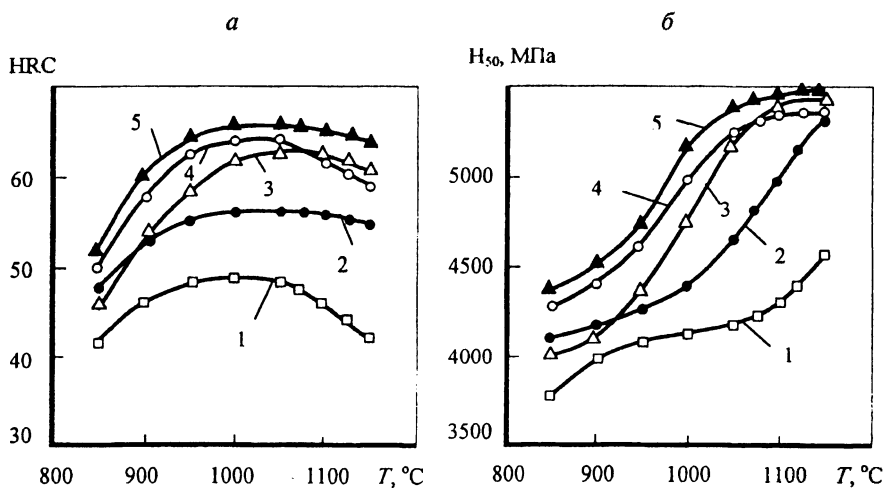


Рис. 1. Влияние температуры закалки на твердость HRC (а) и микротвердость  $H_{50}$  (б) некарбидной составляющей микроструктуры стали 80Х2ГСЛ (1) и белых чугунов ИЧХ12Г2БТА (2), ИЧХ15Г5ЮФА (3), ИЧХ17Г3НМцА (4) и ИЧХ15Г3МФА (5)

Свойства износостойких сплавов

Марка сплава	Термическая обработка отливок	Структура матрицы	Механические и эксплуатационные свойства					Кавитационно-эрозионная стойкость, мг/(м <sup>2</sup> ·гс)
			$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	твёрдость НВ	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Контактная выносливость, МПа	Износ по ГОСТ 23.207-79, мг/гс	
10X12НДЛ	Нормализация, 940–960°С	Мартенсит, феррит (до 15%)	650–750	251–302	30–40	340–415	142–175	132–141
10X18НЗГЗДФЛ	Нормализация, 1070–1100°С, отпуск	Аустенит, феррит (30%)	650–800	185–217	30–45	381–430	130–155	122–135
ИЧХ15Г5МФА, ИЧХ17Г3НМЦА	Закалка, отпуск	Аустенит, мартенсит, (до 15%)	650–750	225–271	35–65	420–512	110–132	118–130
110Г13МФАЛ, 110Г13МБАЛ	Закалка, 1050–1100°С	Аустенит	750–950	190–225	80–180	442–570	126–140	126–134
30ХНМАЛ	Нормализация, 860–880°С	Перлит	700–800	163–207	30–60	312–387	172–214	148–172

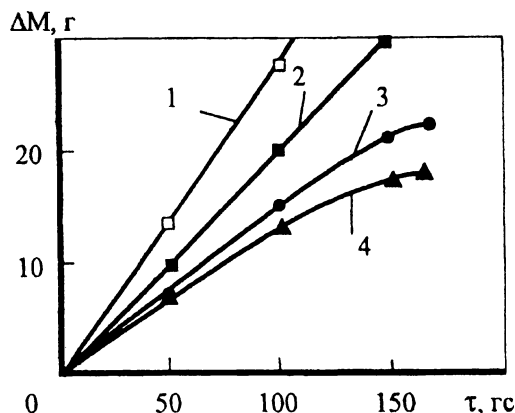


Рис. 2. Зависимость потери массы образцов от времени и условий ударно-абразивного износа: 1 — сталь 80Х2ГСЛ; 2 — сталь 110Г13Л; 3 — чугун ИЧХ12Г2БТА; 4 — чугун ИЧХ15Г3МФА

стойкость массивных отливок, существенно зависящая от химического состава и устойчивости аустенита в интервале температур от  $A_{\text{ц1}}$  до  $M_{\text{н}}$ . Исследования показали, что в хромистых износостойких сплавах способствуют повышению прокаливаемости такие элементы, как Mo, Mn, В, Nb,

V и S. Снижают прокаливаемость С, Si, Al, N и нитриды циркония и алюминия.

Результаты исследований и опытно-промышленных испытаний сложнoleгированных износостойких сплавов с карбонитридным упрочнением позволяют рекомендовать их для изготовления литых деталей, работающих в условиях интенсивного механического и ударно-абразивного износа.

Литература

1. Карпенко М. И., Марукович Е. И. Износостойкие отливки. Мн.: Наука и техника, 1984.
2. А.с. 1321101 СССР, МКИ С22С 37/10. Износостойкий белый чугун / Е. И. Марукович, М. И. Карпенко, А. И. Карпенко.
3. Карпенко М. И., Марукович Е. И. Легирование и модифицирование износостойких отливок // Литейное производство, 1999. № 9. С. 27–28.
4. А.с. 1154362 СССР, МКИ С22С 37/10. Чугун / Е. И. Марукович, М. И. Карпенко, М. Н. Клейнер и др.
5. Святкин Е. К., Карпенко М. И. Современные технологические процессы получения отливок из износостойких чугунов. М.: НИИМАШ, 1976.
6. А.с. 1656004 СССР, МКИ С22С 35/00. Лигатура для чугуна / Б. К. Святкин, М. И. Карпенко, М. Б. Егорова и др.