

## ДЕФОРМИРОВАННЫЙ ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН – УНИКАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ XXI ВЕКА

А.А. Баранов, Д.А. Баранов

Донецкий национальный технический университет

Наведені результати дослідження структури і властивостей деформованого високоміцного чавуна (ДВЧ). Розглянуто способи підвищення деформованості чавуна при прокатці і куванні. Показана роль термообробки і анізотропії ДВЧ при виготовленні виробів. Аналізуються шляхи зниження витрат при виробництві ДВЧ.

Графитизированный чугун является одним из основных материалов современной техники. Ежегодно в мире его производят десятки миллионов тонн. Особое место в металлургическом производстве занимает чугун с шаровидным графитом. В промышленно развитых странах (США, Японии, Англии) производство отливок из высокопрочного чугуна составляет 20 – 30% общего объема производства литых металлов. Степень использования высокопрочного чугуна в стране определяет качество машин и служит косвенной характеристикой уровня развития машиностроения. Открытие чугуна с шаровидным графитом более 60 лет назад вызвало революционные преобразования в металлургии. Включение в технологию высокопрочного чугуна обработки давлением является следующей стадией преобразований в металлургии.

Результаты исследований и производственная практика последних лет позволяют заключить о появлении нового класса материалов – деформированного высокопрочного чугуна (ДВЧ). Этот материал обладает рядом уникальных свойств, что позволяет заключить о его перспективности и способности конкурировать с легированными сталями и цветными сплавами. Простота изготовления, возможность использования традиционных способов обработки, универсальность материала и замечательные показатели свойств свидетельствуют о том, что ДВЧ является перспективным материалом XXI века.

Технология ДВЧ основана на совмещении способов обработки чугуна давлением с термической обработкой. Благодаря пластической деформации чугуна шаровидные в исходном состоянии графитные частицы вытягиваются в направлении течения металла и приобретают вид эллипсоидов, дисков, стержней и волокон в зависимости от параметров обработки [1]. Характерной особенностью структуры ДВЧ яв-

ляется однообразная ориентация вытянутого графита в изделии и изолированность включений. Имея в виду уникальные свойства графита, его инертность в агрессивных средах и смазывающую способность, следует ожидать от ДВЧ, структура которого сходна с композициями, новых и привлекательных свойств. В результате деформации графита чугун приобретает анизотропные свойства, так что количественные характеристики их зависят от направления испытания [2]. Так, высокая износостойкость в условиях сухого трения скольжения присуща поверхностям чугуна, которые перпендикулярны вытянутым включениям графита. Наоборот, высокой коррозионной стойкостью характеризуются поверхности деформированного чугуна, параллельные вытянутым включениям. Анизотропия ДВЧ проявляется также при сварке, производимой для устранения дефектов и изготовлении литочувствительных изделий, наплавке, обезуглероживании и других технологических операциях. В связи с этим при выборе технологии ДВЧ следует учитывать его анизотропию и так ориентировать вытянутые графитные включения относительно рабочей поверхности, чтобы обеспечить максимальную стойкость изделия. Для этого технолог и конструктор должен обладать достаточным уровнем знаний о ДВЧ.

Накопление соответствующей информации, систематизация ее и разработка теории ДВЧ в ДонНТУ осуществлялись на кафедре физического материаловедения в последние пять лет – в рамках государственной темы. До этого периода авторами темы были получены достаточно интересные данные о структуре и свойствах ДВЧ. Так, более полувека назад одним из авторов доклада было показано, что предварительная деформация высокопрочного чугуна повышает термическую стабильность размеров отливок, а на форме деформированного графита длительное пребывание чугуна при высокой температуре не сказывается [3]. При выполнении государственной темы в период 2002–2004 г.г. были изучены структурные изменения, происходящие во время деформации высокопрочного чугуна, разработаны способы повышения деформируемости, что позволило проследить за изменением строения и свойств чугуна после прокатки иковки в широком интервале температур 20...1000°C [4, 5].

На основании металлографического исследования прокатанного высокопрочного чугуна в трех взаимноперпендикулярных плоскостях – плоскости прокатки, на боковой поверхности и в поперечном сечении – и последующей компьютерной обработки полученных изображений были разработаны пространственные модели деформированного графита. При анализе результатов исследования структурных изменений графита и влияния на них основных параметров прокатки –

степени обжатия и температуры – разработана классификация видов обработки давлением. В соответствии с нею при холодной деформации высокопрочного чугуна графитные частицы испытывают бóльшие изменения формы, чем чугун, а при теплой деформации в области 600 - 700°C оба элемента структуры – и графит и металлическая основа чугуна – деформируются в одинаковой степени. Оказалось, что влияние температуры и степени обжатия на формоизменение графита и основы чугуна обусловлено соотношением реологических свойств обоих элементов сплава. При комнатной температуре мягкий графит при прокатке чугуна испытывает предпочтительную деформацию. Сопротивление деформации его с повышением температуры меняется мало, в то время как сопротивление деформации металлической основы резко падает, так что при 600 - 700°C оба элемента структуры становятся равнопрочными. Имея в виду негативную роль графита в деформируемости высокопрочного чугуна, выбор оптимальных параметров обработки давлением является важной задачей технолога.

Разрушение высокопрочного чугуна при прокатке и ковке происходит вследствие сплющивания графитных частиц и выдавливания их в образующиеся клинообразные трещины [4]. Оно происходит тем раньше, чем сильнее отличаются реологические характеристики графита и основы. Расклинивающий эффект графита может быть ослаблен, если вокруг графитных частиц создать несплошности. В этом случае возможно свободное формоизменение включений. Такие несплошности формируются при растворении графита в железе из-за некомпенсированности противоположно направленных диффузионных потоков железа и углерода [3]. Разработанные рациональные режимы термической обработки позволили увеличить на 20 – 50% степень обжатия чугуна до образования трещин. Благодаря предварительной термообработке удалось прокатать и проковать высокопрочный чугун с обжатием до 80%, чего не удавалось прежде, и изучить влияние обжатий на физико-химические и механические свойства чугуна.

Вкратце, полученные результаты сводятся к следующему. Холодная, теплая и горячая деформация высокопрочного чугуна позитивно сказывается на качественных характеристиках высокопрочного чугуна. При механических испытаниях вдоль течения металла сильно повышаются прочность, вязкость, а пластичность в поперечном направлении – изменяется в меньшей степени [4, 5]. Твердость и плотность чугуна увеличиваются со степенью обжатия, но темп повышения определяется температурой. Анизотропия деформированного чугуна выявляется при коррозионных и трибологических испытаниях, при сварке и обезуглероживании [2]. Степень анизотропии измеряется

сотнями процентов. Особенно заметно влияние деформации на износостойкость высокопрочного чугуна. При размещении вытянутого графита по нормали к направлению скольжения деформированный чугун обладает бóльшей износостойкостью в условиях сухого трения скольжения, чем износостойкие бронзы. Сопротивление коррозии в концентрированных водных растворах серной кислоты, в морской, шахтной и питьевой воде под влиянием деформации возрастает. Это обусловлено воздействием графита, который препятствует проникновению коррозионных компонентов в глубь чугуна. О замечательных антикоррозионных свойствах высокопрочного чугуна недавно сообщалось в печатном органе НАН Украины (газета “Світ” №43, 2005г.). Деформированный высокопрочный чугун хорошо сваривается, что позволяет широко применять электросварку для ремонта заготовок. Свойства деформированного высокопрочного можно повысить термической обработкой, благодаря которой он может приобретать качества конструкционного, инструментального или материала с особыми физико-химическими свойствами [6].

На основании приведенных данных разработана новая концепция создания многофункциональных материалов. В соответствии с нею, из одного вещества - высокопрочного чугуна – путемковки, прокатки, прессования и последующей термической обработки можно изготавливать разнообразные материалы. Это позволяет значительно сократить складские запасы, увеличить стойкость изделий, снизить затраты на их изготовление. Деформированный высокопрочный чугун должен заинтересовать малого предпринимателя, поскольку облегчает переход с одного вида продукции на другой без существенных материальных потерь. В настоящее время из ДВЧ изготавливают листы, трубы, арматуру, проволоку. Его используют при изготовлении многих машиностроительных деталей, особенно в узлах трения (шестерен, зубчатых колес, звездочек, муфт, валов и т.д.). Применение его для производства шаров помольных мельниц позволяет повысить их стойкость и снизить затраты на изготовление [7].

Следовательно, совмещением деформации и термической обработки высокопрочного чугуна можно создавать высококачественные материалы, способные успешно конкурировать с легированными сталями и цветными сплавами при изготовлении многих изделий. Это используют наши соседи – Россия и Беларусь, где разработаны и используются технологии ДВЧ с применениемковки, прокатки, выдавливания, прессования, теплого волочения. Применяют их в металлургии, автотракторном машиностроении, строительстве газо- и нефтепроводов и др. Особый интерес ДВЧ представляет для Донбасса. Чу-

гун хорошо поглощает шум и вибрации и может быть использован в рельсовом транспорте и при креплении металлообрабатываемого оборудования. К сожалению, уровень производства высокопрочного чугуна в Украине на порядок величины ниже, чем в промышленно развитых странах. Затраты на производство ДВЧ могут быть снижены при применении доменного чугуна непосредственно после выхода из доменной печи и разливки в МНЛЗ [8].

По результатам исследования опубликовано более 50 статей и получено 5 патентов Украины и России. Завершена работа над монографией «Механотермические способы совершенствования многофазных железных сплавов». Результаты нашего научного исследования получили высокую оценку в Украине и за рубежом. За научный вклад в развитие ДВЧ один из соавторов доклада получил правительственную премию в 2003 г. Его биографию поместили в издании «Who is Who in the World» в 2006 г. Другому соавтору доклада Американский биографический институт присвоил титул «Men of the Year - 2006».

#### **Литература:**

1. Баранов А. А., Баранов Д. А. Деформированный высокопрочный чугун – перспективный конструкционный материал // Матер. II наук.-практ. конф. “Донбас – 2020: Наука і техніка - виробництву”. – Донецк, 2004. – С. 249 – 254.
2. Баранов Д. А. Анизотропия деформированного высокопрочного чугуна // Изв. ВУЗов. Черн. металлургия. – 2004, №9. – С. 39 – 41.
3. Рост чугуна и стали при термоциклировании / Баранов А. А., Бунин К. П., Глебова Э. Д., Притоманова М. И. – К.: Техника, 1967. – 140с.
4. Баранов Д.А. Деформация и разрушение высокопрочного чугуна // Деформация и разрушение материалов. - 2005, №7. - С. 31 – 36.
5. Баранов А. А., Баранов Д. А. Перспективы технологий, основанных на совмещении горячей деформации и термической обработки чугуна // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2002, №6. – С. 34 – 40.
6. Баранов А.А., Баранов Д.А. Особенности термической обработки деформированного высокопрочного чугуна // ФММ. – 2005. – т. 100, №1. – С. 91 – 98.
7. Щербединский Г.В. Чугун как перспективный материал XXI столетия // МиТОМ. – 2005. №7. – С. 83 - 93.
8. Баранов Д. А. О деформируемом доменном чугуне // Металлургия машиностроения. - 2003, №2. – С. 24 – 26.