

---

---

## II. Результати наукових досліджень

---

---

УДК 620.1:66.017:669.14

**А.В. Мовчан, С.И. Губенко, Е.А. Черноиваненко**

### **ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СИНТЕТИЧЕСКОМ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕМ ЧУГУНЕ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

---

**Губенко Светлана Ивановна** – доктор технических наук, профессор, Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, e-mail: sigubenko@gmail.com

**Мовчан Александр Владимирович**, к.т.н., с.н.с., Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, (095) 1694719, e-mail: alvlmv@i.ua

**Черноиваненко Екатерина Александровна**, к.т.н., доц., Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, (050) 5365467, e-mail: ekatmovchan@gmail.com

---

*Исследованы структурные изменения в предварительно обезуглероженном, синтетическом ванадийсодержащем чугуна, происходящие при деформации в жидко-твердом состоянии. Установлены закономерности формирования структуры в различных диффузионных зонах при последующем науглероживании. Проведено определение вторичной твердости и теплостойкости науглероженного слоя ванадиевого чугуна, деформированного в жидко-твердом состоянии, после окончательной термической обработки.*

*Ключевые слова: ванадийсодержащий чугун, обезуглероживание, науглероживание, деформация, жидко-твердое состояние, аустенито-карбидные колонии.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования влияния химико-термической обработки на превращения в легированных железных сплавах [1-4] послужили основанием для дальнейших разработок в данной области.

Известно, что чугун, как легированный, так и обычный белый, обладает повышенной пластичностью в жидко-твердом состоянии [5, 6]. Для осуществления деформации чугуна в жидко-твердом состоянии, методом обезуглероживания получают на поверхности оболочку из стали, имеющую температуру плавления значительно выше температуры плавления сердцевинной, эвтектической части чугуна. Деформация в жидко-твердом состоянии проводится при температурах выше плавления эвтектики, при этом эвтектика расплавляется, а обезуглероженный поверхностный слой не дает растечься эвтектической жидкости и сохраняет форму образца. Деформация в закрытых штампах приводит к кристаллизации мелкодисперсной эвтектики и формированию плотной бездефектной структуры в изделиях.

Путем последующего науглероживания поверхностной стальной оболочки можно получать необходимую структуру рабочей поверхности изделия с

необходимыми рабочими характеристиками, что регулируется подбором режимов науглероживания и окончательной термической обработки.

Синтетический чугун с 3 % ванадия является перспективным материалом для получения изделий методом деформации и комплексной химико-термической обработки, поскольку науглероженный слой материала с таким содержанием ванадия обладает вторичной твердостью и теплостойкостью в связи с возможностью получения композитной структуры в поверхностном слое.

Целью данной работы было изучение влияния горячей пластической деформации в жидко-твердом состоянии на структурные превращения в синтетических ванадийсодержащих чугунах при химико-термической обработке.

**Материал и методики исследований.** Опытный синтетический чугун изготавливали в печи сопротивления в инертной атмосфере на базе арможелеза следующего химического состава: 3,3 %С, 2,7 %V, 0,035 %Mn, 0,03 %Si, 0,025 %S, 0,015 %P. Структура сплава в исходном состоянии представляет собой дендриты первичного аустенита, ледебуритную эвтектику и включения VC. Обезуглероживали образцы в среде влажного водорода при температуре 1100 °С в течение 2 часов с целью создания тугоплавкой оболочки на поверхности образца. Для осуществления деформации обезуглероженные образцы нагревались в вакууме до температуры 1170 °С, выдерживались 1 минуту, затем извлекались из рабочего пространства печи и подвергались деформации. После деформации образцы охлаждались на воздухе.

Науглероживание проводили в лабораторной установке в газовой среде типа инертный газ – пропан при температуре 1170 °С в течение 1 часа.

Структурные превращения, происходящие при обработках, изучали с использованием методов оптической металлографии. Микротвердость опитных образцов измеряли с помощью приставки для измерения микротвердости к микроскопу «Neophot-21».

**Результаты исследований и их обсуждение.** Известно, что диффузия является структурно чувствительным процессом, и ее скорость зависит от структурного состояния, полученного в результате предшествующих обработок. Нагрев до температуры 1170 °С переводит сердцевину образца в жидко-твердое состояние, на поверхности же сохраняется стальная обезуглероженная оболочка со структурой феррита в наружном слое. Такой образец легко деформируется в закрытых штампах, приобретая необходимую форму.

Деформация практически не изменяет структуру сердцевины образца (рис. 1а). Сохраняются дендриты аустенита и ледебуритная эвтектика, включения карбидов ванадия укрупнились по сравнению с исходной структурой. Ферритная оболочка на поверхности сохраняется (рис. 1б), остальные структурные зоны стальной части образца изменились.

Основное влияние деформации на структурные превращения в обезуглероженном ванадийсодержащем чугуне наблюдалось в зоне, примыкающей к чугунной части образца, т.е. там, где существовало жидко-твердое состояние. Карбиды в аустенито-карбидных колониях раздробились (рис. 2а, б), в этих местах присутствуют округлые карбидные выделения (рис. 2в). В феррите, у самой поверхности образца, карбиды отсутствуют. В конце ферритного слоя и за ним имеются дисперсные карбидные включения (рис. 3).

На основании предыдущих исследований [7] проведено науглероживание обезуглероженной поверхности ванадийсодержащего чугуна, деформированного в жидко-твердом состоянии, для конструирования структуры поверхностного слоя.

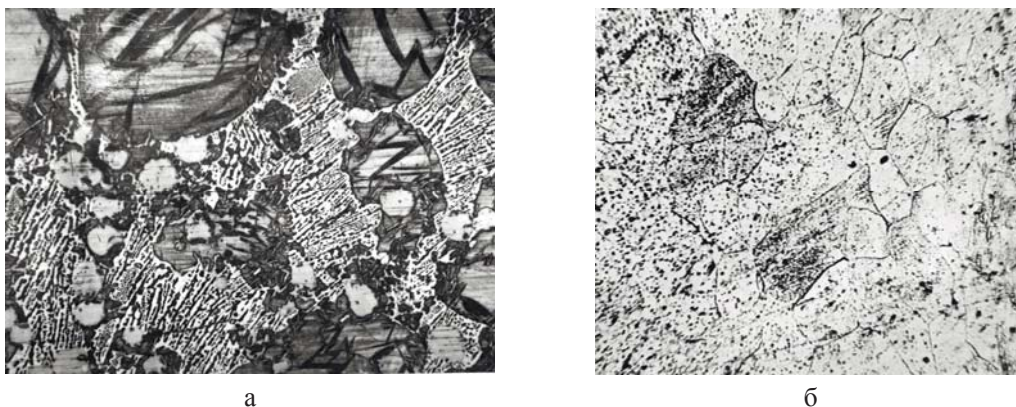


Рис. 1. Микроструктура обезуглероженного ванадийсодержащего чугуна после деформации в жидко-твердом состоянии:  
а – сердцевина, б – поверхность;  $\times 400$

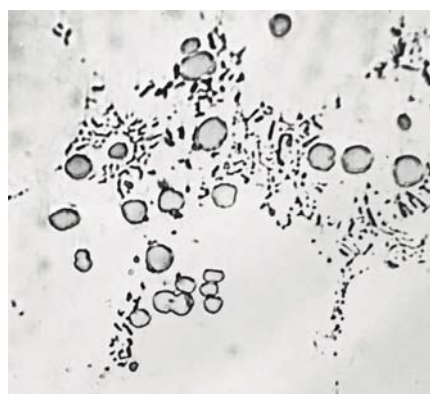


Рис. 2. Микроструктура переходной зоны обезуглероженного ванадийсодержащего чугуна: а – до деформации, б, в – после деформации; а –  $\times 200$ , б –  $\times 600$ , в –  $\times 400$



Рис. 3. Микроструктура карбидных включений деформированного ванадийсодержащего чугуна;  $\times 400$

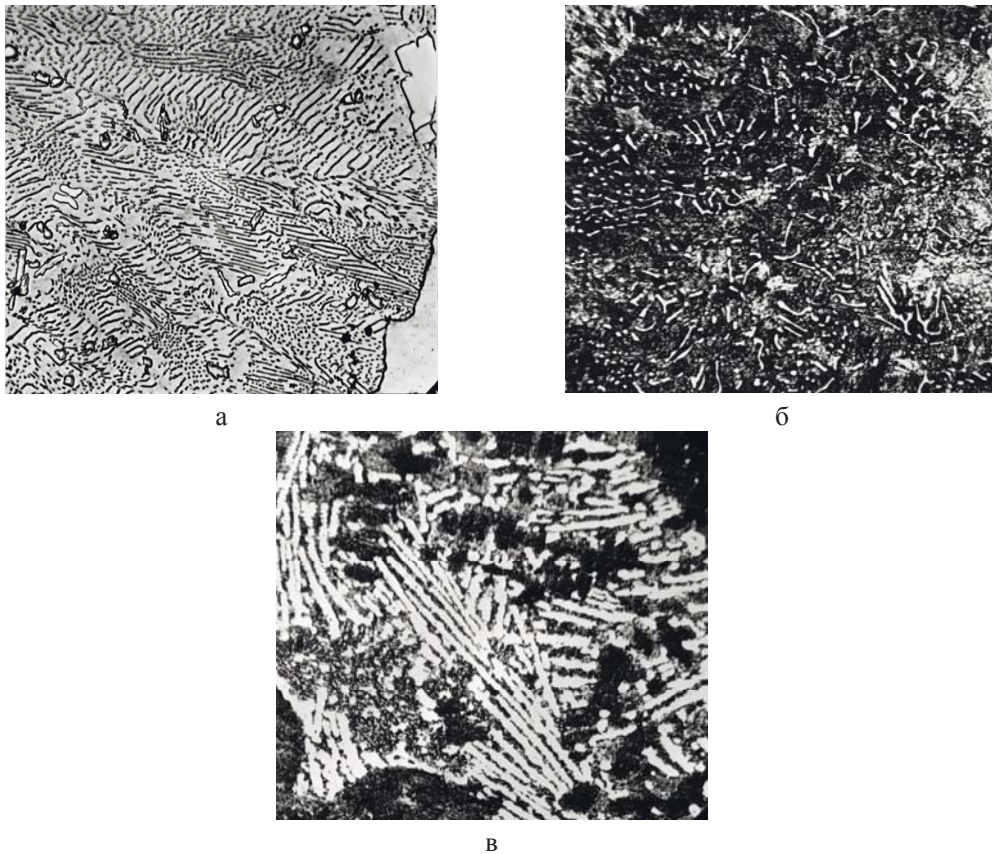


Рис. 4. Микроструктура обезуглероженного ванадийсодержащего чугуна после деформации и науглероживания: а – поверхность, б – переходная зона, в – сердцевина; а –  $\times 500$ , б, в –  $\times 400$

При исследовании микроструктуры науглероженной поверхности установлено, что науглероживание приводит к образованию аустенито-карбидных колоний со стержневыми и пластинчатыми карбидами на поверхности образца (рис. 4а). Ближе к сердцевине образца карбиды в колониях укрупняются и располагаются без определенной ориентировки (рис. 4б). Следовательно, имея на поверхности в обезуглероженном состоянии ферритную структуру, возможен рост аустенито-карбидных колоний при науглероживании. В сердцевине науглероженного образца сохраняется структура доэвтектического чугуна (рис. 4в) в более укрупненном состоянии по сравнению с исходным чугуном за счет диффузионных процессов

Рассматривая микроструктуру переходной зоны между чугуновой сердцевиной и науглероженной стальной частью образца, можно заключить, что процесс науглероживания идет и за счет углерода чугуновой сердцевины, поскольку здесь имеется зона с крупными карбидами (рис. 5). Очевидно, идет распределение ледебурита и перенос углерода в сторону его меньшего содержания.

Представляло интерес определение вторичной твердости и теплостойкости наугле-



Рис. 5. Микроструктура диффузионной зоны обезуглероженного ванадийсодержащего чугуна после деформации и науглероживания;  $\times 400$

роженного слоя ванадиевого чугуна, деформированного в жидко-твердом состоянии, после окончательной термической обработки, в поверхностном слое которого при науглероживании образовались аустенито-карбидные колонии.

Закалку образцов проводили с температур науглероживания, что дает возможность сохранить аустенито-карбидные колонии в поверхностном слое. Твердость науглероженной поверхности после закалки составила 58-59 HRC. После закалки проводили трехкратный отпуск при температуре 560 °C по 1 часу каждый. Твердость науглероженной поверхности после такого отпуска составляет 60-61 HRC. Теплостойкость определяли по методике, принятой для определения ее в быстрорежущих сталях, путем нагрева образцов до 620 °C с выдержкой в течение 4-х часов. Твердость после этого составила 59-60 HRC.

Из приведенных данных видно, что науглероженная оболочка ванадиевого чугуна с колониальной структурой обладает вторичной твердостью и теплостойкостью.

## ВЫВОДЫ

Проведена деформация образцов ванадийсодержащего чугуна с обезуглероженной поверхностью при температуре жидко-твердого состояния. Показано, что такой чугун приобретает высокую пластичность в жидко-твердом состоянии.

Исследовано формирование структуры обезуглероженной поверхности деформированного ванадиевого чугуна при науглероживании. Показано, что в обезуглероженном поверхностном слое путем науглероживания можно получить структуру аустенито-карбидных колоний, обладающих высокими износостойкостью, твердостью и теплостойкостью.

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в промышленности для получения деталей машин, работающих без значительных ударных нагрузок, методом пластической деформации в жидко-твердом состоянии из легированных износостойких чугунов с обезуглероженной поверхностью. Такими деталями могут быть шестерни, тяги и др. Этот метод позволяет получать детали с высокой геометрической точностью и чистотой поверхности, а в науглероженном состоянии детали могут обладать необходимым комплексом свойств. Благодаря высокой пластичности чугунов в жидко-твердом состоянии предполагается высокая стойкость штампового инструмента, формирующего детали.

*Досліджено структурні зміни в попередньо знеуглецьованому, синтетичному ванадієвому чавуні, що відбуваються при деформації в рідко-твердому стані. Встановлено закономірності формування структури в різних дифузних зонах при подальшому науглецьованні. Проведено визначення вторинної твердості і теплостійкості науглецьованому шару ванадієвого чавуну, деформованого в рідко-твердому стані, після остаточної термічної обробки.*

**Ключові слова:** ванадієвий чавун, знеуглецьовання, науглецьовання, деформація, рідко-твердий стан, аустеніто-карбідні колонії.

*Structural changes in preliminary decarburized synthetic vanadium-containing cast iron have been investigated, which occur by deformation in a liquid-solid state. The regularities of structure formation in various diffusion zones during subsequent carburization are established. The secondary hardness and heat resistance of a carbonized layer of vanadium iron deformed in a liquid-solid state after the final heat treatment was studied.*

**Key words:** vanadium-containing cast iron, decarburization, carburization, deformation, liquid-solid state, austenitic-carbide colonies.

1. Мовчан В.И. Рост карбидных волокон при диффузионном науглероживании железных сплавов / В.И. Мовчан, Л.Г. Педан, В.П. Герасименко // МиТОМ. – 1983. – №9. – С. 19–21.
2. Мовчан А.В. Многофазные превращения при диффузионном изменении содержания углерода в железных сплавах / А.В. Мовчан, А.П. Бачурин, Л.Г. Педан // Доповіді НАН України. – 2000. – №7. – С. 104–108.
3. Мовчан В.И. Морфологические особенности науглероженных железных сплавов / В.И. Мовчан, В.П. Герасименко, Л.Г. Педан // Изв. ВУЗов. Черн. мет. – 1979. – № 8. – С. 92–95.
4. Губенко С.И. Влияние предварительной деформации на науглероживание литых сплавов типа быстрорежущих сталей / С.И. Губенко, А.В. Мовчан, А.П. Бачурин, Е.А. Черноиваненко // Теория и практика металлургии. – 2012. – № 4. – С. 45–49.
5. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны / Ю.Г. Бобро. – М.: Металлургия, 1976. – 288 с.
6. Мовчан А.В. Эвтектикоподобная кристаллизация при обезуглероживании высокомолибденистого чугуна / А.В. Мовчан, С.И. Губенко, А.П. Бачурин, Е.А. Черноиваненко // Теория и практика металлургии. – 2011. – № 1-2. – С. 40–41.
7. Гавриленко В.М. Строение аустенито-карбидных колоний в науглероженных сплавах Fe-V / В.М. Гавриленко, В.П. Герасименко, В.И. Мовчан // Изв. АН СССР. Металлы. – 1984. – №3. – С. 71–73.