

УДК 621.762

**Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, А. И. Толочин, А. В. Лаптев, А. Н. Грипачевский**  
*Институт проблем материаловедения им. Францевича НАН Украины*  
**ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДОСТАЛИ ИМПУЛЬСНОЙ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ**

*Исследовано влияние температуры импульсного горячего прессования и последующего отжига на структуру и некоторые механические свойства карбидостали. Показано, что использование импульсного горячего прессования приводит к получению текстурированной мелкозернистой микроструктуры и обеспечению повышенных физико-механических свойств материала.*

*Ключевые слова:* нержавеющая сталь, карбидосталь, импульсное прессование, карбид хрома, отжиг.

*Рис. 15. Форм. 9. Табл. 1. Лит. 7.*

**Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, А. И. Толочин, А. В. Лаптев, А. Н. Грипачевський**  
**ОТРИМАННЯ КАРБИДОСТАЛІ ІМПУЛЬСНОЮ ГАРЯЧОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ**

*Досліджено вплив температури імпульсного гарячого пресування і наступного відпалу на структуру і деякі механічні властивості карбідосталі. Показано, що використання імпульсного гарячого пресування призводить до отримання текстурованої дрібнозернистої микроструктури і забезпеченню підвищених фізико-механічних властивостей матеріалу.*

*Ключові слова:* нержавіюча сталь, карбідосталь, імпульсне пресування, карбід хрому, відпал.

**R. V. Yakovenko, V. A. Maslyuk, A. I. Tolochyn, A. V. Laptev, A. N. Gripachevsky**  
**GETTING KARBIDOSTALI PULSE HOT DEFORMATION**

*The effect of temperature pulsed hot pressing and subsequent annealing on the structure and mechanical properties of some karbidostali. It has been shown that the use of a pulsed hot pressing results in a fine-grained microstructure, and oriented achieving improved physical and mechanical properties of the material.*

*Keywords:* stainless steel, carbeed-steels, impulsive pressing, chromium carbide, annealing.

**Введение.** Применение метода интенсивной горячей деформации позволяет получить высокую однородность прочности, которая обеспечивает высокую эксплуатационную надежность сплавов, полученных этим методом. С формированием практически беспористого материала проходит формирование готовой детали, которая имеет высокую чистоту поверхности и точные размеры [1-3].

Нержавеющие стали, экономлегированные никелем, из экономической, технологической точек зрения и за уровнем физико-механических свойств являются наиболее пригодной основой для создания карбидосталей с участием карбида хрома. Эти сплавы малоисследованы, вместе с тем по уровню физико-механических и эксплуатационных свойств они являются перспективными материалами для изготовления деталей с повышенной износостойкостью, которые могут также эксплуатироваться в коррозионноактивных средах.

Целью работы являлось исследование физико-механических свойств карбидостали X17H2-30% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, полученной импульсным горячим прессованием (ИГП) в вакууме.

**Методика эксперимента.** Смеси порошков X17H2 с 30% об. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> подвергали совместному размолу-смешиванию в шаровой мельнице в среде спирта. Прессование проводили при комнатной температуре в заготовки-брикеты, пористость брикетов составляла 40 %. Затем заготовки загружали в вакуумную камеру установки для импульсного горячего прессования. После достижения заданного уровня температуры делали изотермическую выдержку, длительностью 20 мин и осуществляли прессование в вакууме. Уплотнение заготовки проходило в закрытой графитовой матрице при скорости перемещения пуансонов ~ 8 м/с. После уплотнения спрессованную заготовку охлаждали в вакуумной камере.

Для импульсного компактирования заготовок были выбран следующий интервал температур: 1000-1200 °С. С целью повышения диффузионного взаимодействия между частицами карбида и стали, часть образцов после ИГП поддавали отжигу при температуре 1150°С в течение 60 минут в вакууме.

Исследовали влияние температуры импульсного горячего прессования на формирования микроструктуры, плотность, предел прочности при изгибе и твердость по Роквеллу. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе XJL-17 AT при увеличении 100 и выше.

**Результаты экспериментов и их обсуждение.** Отличительной особенностью метода ИГП являлось то, что его использование позволяет получить материал при температурах твердофазного

© Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, А. И. Толочин, А. В. Лаптев, А. Н. Грипачевський

спекания, что исключает рост размера зерен карбидной составляющей в отличии от спекания с участием жидкой фазы. Исследовали влияние температуры ИГП на плотность и пористость карбидостали X17H2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (Рис. 1 а, б).

Как видно из приведенных зависимостей получение образцов методом ИГП в интервале температур 1000–1200 °С мало влияет на изменение плотности и пористости. При этом формируются высокоплотные образцы с пористостью 1–4 %. Некоторое увеличение пористости до 4 % можно объяснить перекристаллизацией карбида хрома  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  в сложный карбид  $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$  [4]. В процессе чего происходит интенсивная взаимная гетеродиффузия железа, хрома и углерода, образовавшаяся диффузионная пористость не успевает залечиться из-за относительно низкой температуры и кратковременной выдержки. Для сравнения, спеченные при 1200 °С карбидостали X17H2- 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  имеют до 14 % пор [5].

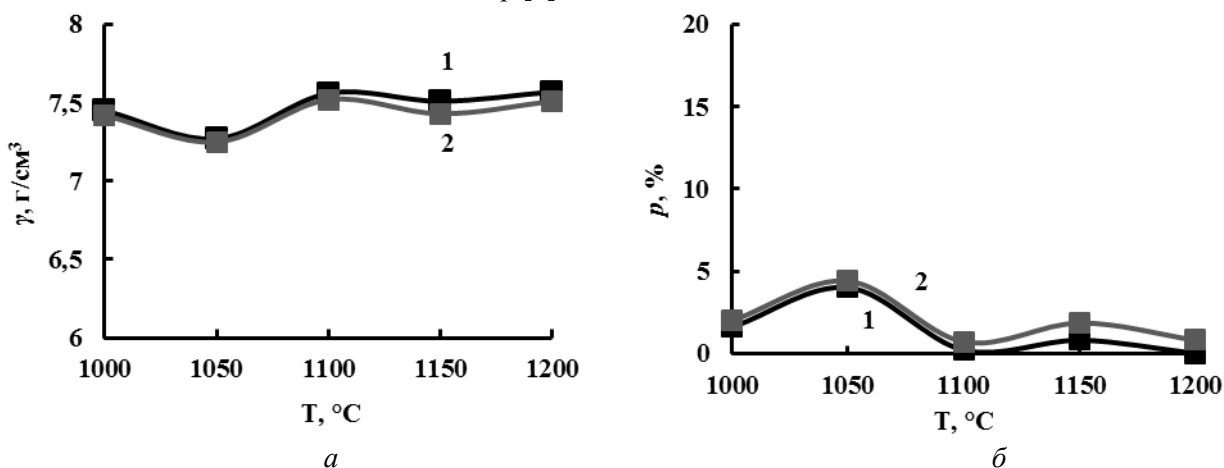


Рис. 1. Зависимость плотности (а) и пористости (б) от температуры ИГП карбидосталей X17H2- 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (1 - образцы полученные ИГП; 2 - образцы полученные ИГП с последующим отжигом)

Дополнительно было изучено удельное электрическое сопротивление, которое характеризует способность вещества препятствовать прохождению электрического тока. Этот метод, хотя и не раскрывает полную картину процессов уплотнения, но позволяет судить о степени совершенства контактов между частицами и завершенности процесса уплотнения, т.е. разрешает получить достаточно надежную информацию о консолидации порошкового тела. На (рис. 2) мы видим при температуре 1050 °С увеличением электросопротивления с 86 до 93 мкОм·см, что соответствует увеличению пористости.

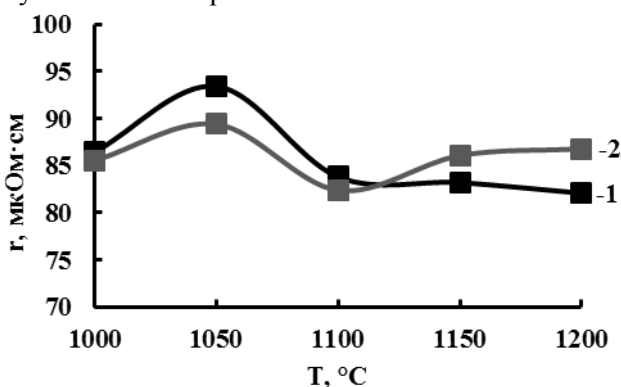


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры ИГП карбидосталей X17H2- 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (1 - образцы полученные ИГП; 2 - образцы полученные ИГП с последующим отжигом)

Для увеличения диффузионного взаимодействия между частицами карбида и стали с целью повышению физико-механических свойств был проведен высокотемпературный отжиг. На (рис. 1, а) видно что отжиг при температуре 1150 °С не привел к изменению плотности, т.к. при данной температуре в этой системе возможно только твердофазное взаимодействие, которое не может увеличить плотность уже продеформированных образцов.

Рассматривая влияние отжига на электросопротивление образцов карбидостали X17H2-30% об.  $Cr_3C_2$ , видим, что при температурах ИГП 1000-1100 °С электросопротивление отожженных образцов ниже, чем образцов без отжига, что вполне закономерно. Но при повышении температуры ИГП до 1150-1200 °С электросопротивление отожженных образцов несколько возрастает. Это скорее всего вызвано повышением объемного содержания образующихся сложных карбидов [3], которые ухудшают электрическую проводимость (Рис. 2).

Образцы, полученные ИГП имеют мелкозернистую трехфазную микроструктуру, светлая фаза – карбиды, более темная – металлическая матрица (Рис. 3). Повышение температуры ИГП от 1000 до 1200 °С приводит к росту карбидных зерен в среднем в 1,5 раза. Дополнительные отжиг приводит к гомогенизации микроструктуры карбидостали. Сравнение микроструктур отожженных и неотожженных образцов показали, что микроструктура отожженных – более равновесная и имеет четкие границы зерен (рис. 3, г, д, е).

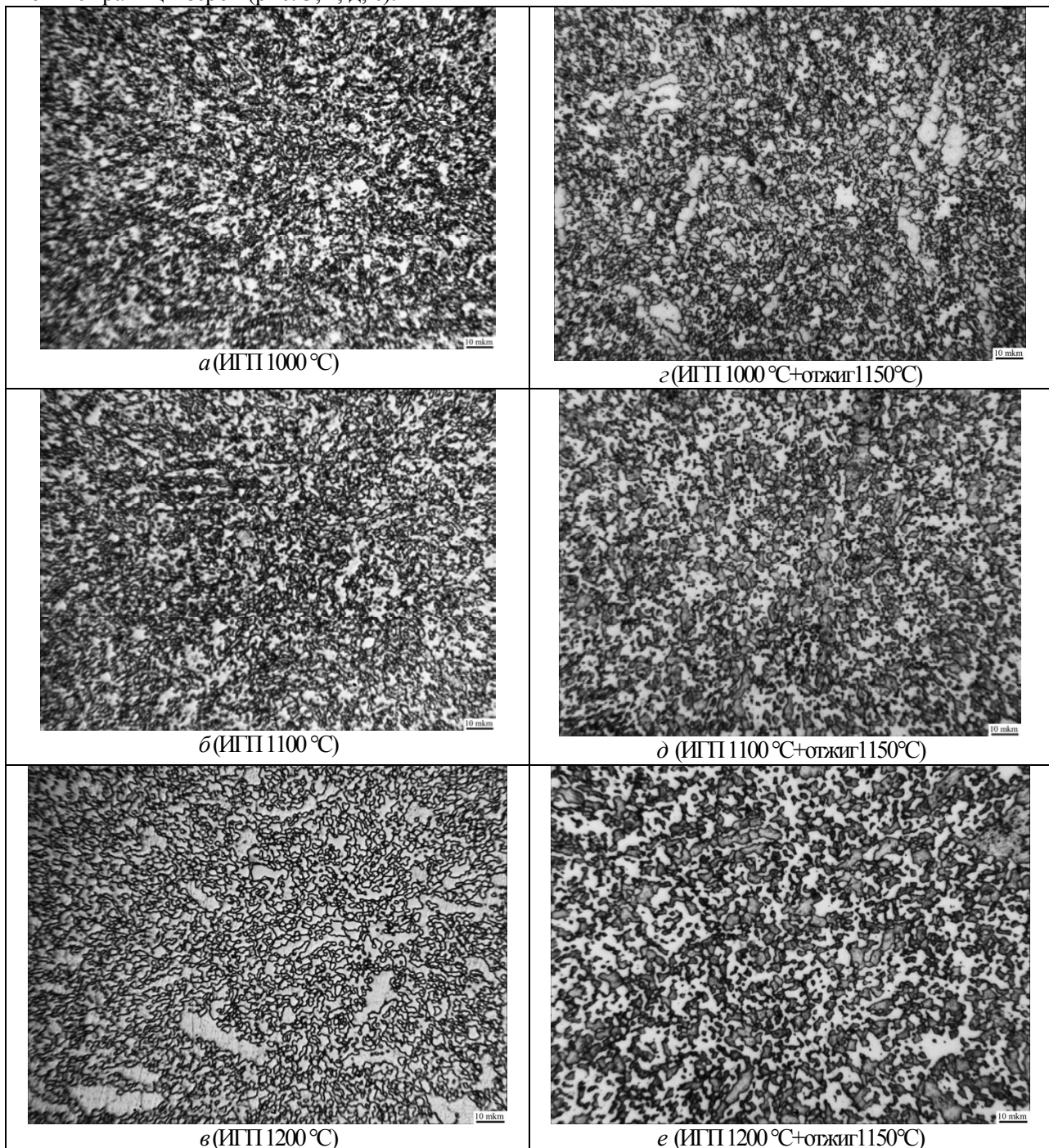


Рис. 3. Микроструктуры карбидостали X17H2-30% об.  $Cr_3C_2$ , полученной ИГП и ИГП с последующим отжигом

Следует отметить, что микроструктура карбидостали X17H2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  имеет четко выраженную вытянутую форму зерен металлической матрицы. Это происходит из-за радиальной составляющей усилия при ИГП, зерна вытягиваются в направлении, перпендикулярном направлению прессования.

Исследовали физико-механические свойства карбидостали X17H2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , полученных с помощью импульсного горячего прессования в вакууме. Установлено, что для неотожженных образцов карбидостали X17H2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , в зависимости от температуры импульсного горячего прессования, прочность на изгиб и твердость повышаются от 345 до 1366 МПа (рис. 4).

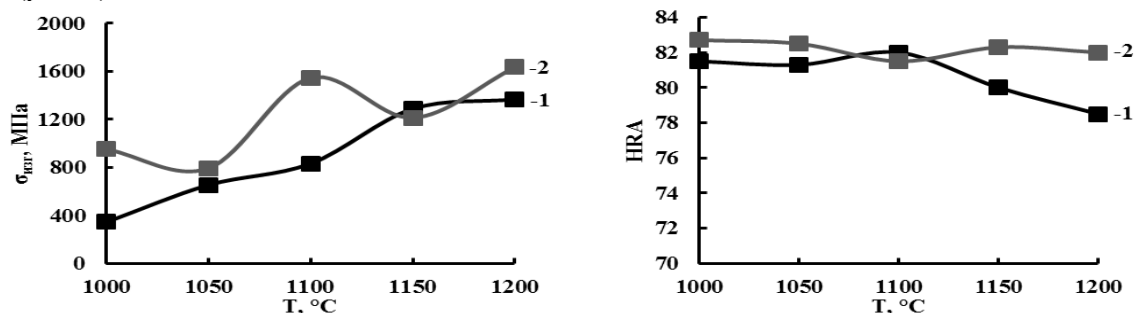


Рис. 4. Зависимость прочности на изгиб (а) и твердости (б) от температуры ИГП карбидосталей X17H2- 30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  (1 - образцы полученные ИГП; 2 - образцы полученные ИГП с последующим отжигом)

У отожженной карбидостали прочность на изгиб изменяется немонотонно, практически во всем температурном интервале и она выше, чем у неотожженных образцов карбидостали. При температуре ИГП 1100 °C она составляет 1545 МПа, что в 1,8 раз выше, чем у неотожженных образцов. Твердость с повышением температуры ИГП, для неотожженных образцов до температуры 1100 °C остается практически неизменной, а при повышении температуры до 1150-1200 °C – снижается с 82 до 78,5 HRA. Это может быть связано скорее всего с ростом зерен карбидной и металлической фаз. Отожженные карбидостали имеют твердость в диапазоне 81,5-82,7 HRA. Карбид хрома интенсивно взаимодействует с основой, происходит активная гетеродиффузия железа и хрома в карбид, а углерода в стальную матрицу, в результате чего увеличивается количество твердой фазы и повышение твердости.

Значительное влияние оказывает и последующий отжиг, который повышает прочность на изгиб и твердость, хотя плотность отожженных образцов несколько ниже, чем у неотожженных, поэтому повышение прочностных характеристик можно связывать только с увеличением межчастичного взаимодействия и повышение адгезионной прочности.

**Заключение.** Проведенное исследование влияния температуры импульсного горячего прессования на структуру и свойства отожженных и неотожженных образцов карбидостали X17H2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  позволило установить, что использование метода ИГП в вакууме позволяет получить карбидостали с достаточным уровнем физико-механических свойств. Проведение последующего диффузионного отжига приводит к дальнейшему повышению прочности на изгиб и твердости карбидостали X17H2-30% об.  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ . Полученные результаты позволяют рекомендовать данный материал для изготовления конструкционных изделий, работающих в условиях абразивного изнашивания и действия коррозионноактивных сред.

1. Толочин А. И., Лаптев А. В., Головова М. Е., Ковальченко М. С. Ультрамелкозернистый высококобальтовый твердый сплав ВК40. I. Структура и свойства сплава // Порошковая металлургия, 2008. – № 3/4. – С. 27–37.
2. Толочин А. И., Лаптев А. В., Головова М. Е., Ковальченко М. С. Ультрамелкозернистый высококобальтовый твердый сплав ВК40. II. Связь механических свойств со структурой // Порошковая металлургия, 2008. – № 5/6. – С. 66-77.
3. Ковальченко М. С. Спекание порошковых материалов под внешним давлением // Порошковая металлургия. – 2011. – № 1/2. – С. 22-42.
4. Яковенко Р. В. Растворение карбида  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  в стальной матрице при спекании / Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, А. Н. Грипачевский, В. Б. Деймонтович // Порошковая металлургия. – 2011. – № 3/4. – С. 75-83.
5. Яковенко Р. В. Механические и трибологические свойства износ-коррозионностойких карбидосталей системы сталь- $\text{Cr}_3\text{C}_2$  / Р. В. Яковенко, В. А. Маслюк, Г. А. Баглюк, В. Т. Варченко, Д. Н. Бродниковский //Международный специализированный научно-технический семинар «Композиционные фрикционные материалы: свойства, производство, применение», 25-26 мая 2010 г., Минск, Беларусь. – С. 122-130.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2014.