

Из таблицы 1 видно, что наиболее высокие значения обратимой неупругой деформации наблюдаются в наиболее упрочненных материалах, в которых предел текучести значительно бы превышал напряжение мартенситного сдвига  $\tau_m$ . Эти результаты коррелируют с данными других авторов [3, 4]. В [3, 4] упрочненное состояние было обусловлено измельчением зёрно-субзёрненной структуры.

Таблица 1 - Температуры деформирования, максимальные значения суммарной неупругой деформации, величины напряжения мартенситного сдвига и предел текучести.

Фазовый состав	$T_{\text{деф}}$ , К	$\tau_{0.3}$ , МПа	$\tau_m$ , МПа	$\gamma_{\text{снд}}(\text{max})$ , %
B19'	164	490	180	18.4
	204	435	165	19.2
B2+ B19'	242	415	70	19.3
Предпереходное состояние B2	260	445	55	19.1
	281	455	160	17.9
B2	315	450	395	15.9

*Примечание:*  $T_{\text{деф}}$  – температура деформирования изотермических циклов «нагружение-разгрузка»;  $\gamma_{\text{снд}}(\text{max})$  – максимальная величина суммарной неупругой деформации;  $\tau_m$  – напряжение мартенситного сдвига;  $\tau_{0.3}$  – предел текучести.

*Работа поддержана Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23.*

#### **Список литературы**

1. Lotkov A., Grishkov V., Timkin V., Baturin A., Zhapova D. Yield stress in titanium nickelide-based alloys with thermoelastic martensitic transformations // Materials Science and Engineering A. 2019. V.744. P.74-78.
2. Пушин В.Г., Кондратьев В.В., Хачин В.Н. Предпереходные явления и мартенситные превращения. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 368 с.
3. Полякова К.А., Рыклина Е.П., Прокошкин С.Д., Дубинский С.М. Зависимость функциональных характеристик термомеханически обработанного никелида титана от размера структурных элементов аустенита // Физика металлов и металловедение. 2016. Т.117. С. 845–855.
4. Прокошкин С.Д., Браиловский В., Хмелевская И.Ю., Добаткин С.В., Инаекян К.Э., Демерс В., Бастарш Е., Татьяна Е.В. Формирование нанокристаллической структуры при интенсивной пластической деформации прокаткой и отжиге и повышение комплекса функциональных свойств сплавов Ti-Ni // Известия РАН. Серия физическая. – 2006. – Т.70. – №9. – С.1344-1348.

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛИ 40Х, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ Порошковой МЕТАЛЛУРГИИ**

Ю.Е. ИВАНОВ

<sup>1</sup> Томский политехнический университет  
E-mail: skeanner@mail.ru

Преимущество порошковой металлургии перед другими технологиями заключается в более точном производстве изделий, позволяющем снизить количество отходов, экономичном производстве, более простом технологическом процессе. Это во многих случаях вытесняет такие способы производства, как литье,ковка, штамповка. Детали сложных конфигураций, которые сейчас получают на заводах только обработкой резанием, могут в будущем изготавливаться методами порошковой металлургии. [1] В данной работе

проведено исследование влияния температуры спекания на структуру и свойства порошковой стали 40X.

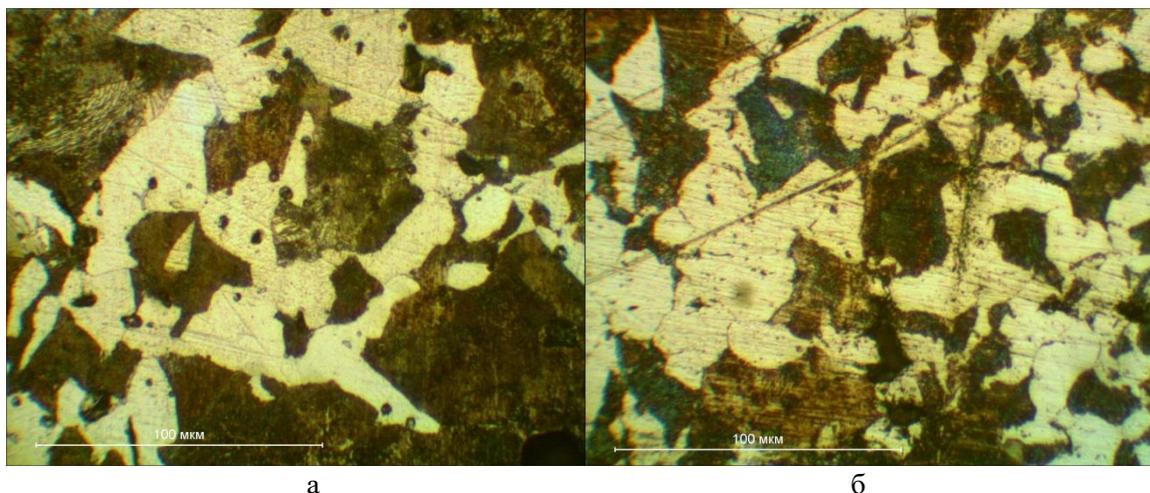


Рисунок 1 - Микроструктура шлифов первого (а) и второго (б) образца после травления 4% - ным раствором кислоты  $\text{HNO}_3$

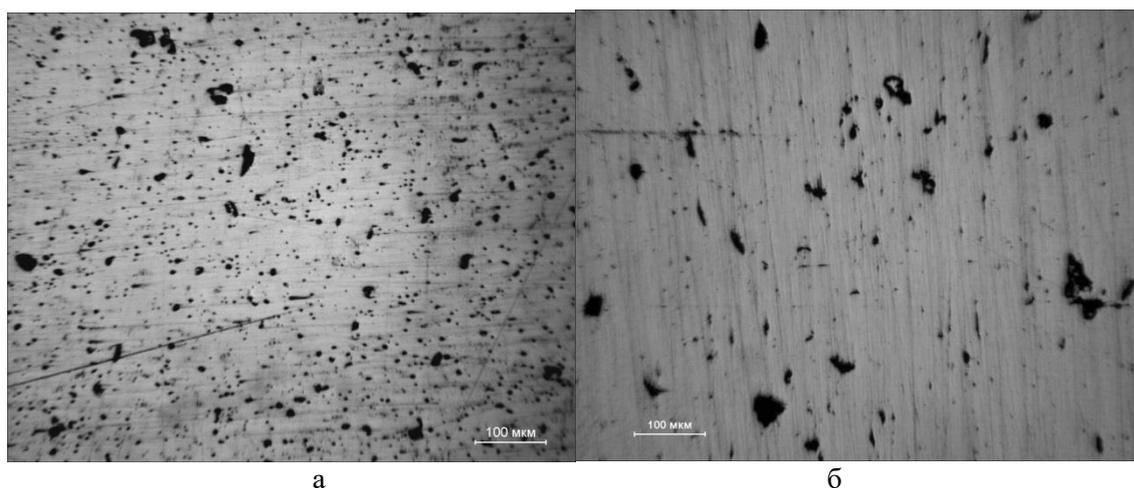


Рисунок 2 – Микроструктура обработанной поверхности образцов 1 (а) и 2 (б)

Исследованы образцы стали 40X, полученные формованием с пластификатором (5,5 % масс. связки из 30 % масс. полипропилена и 70 % воска, давление прессования 127 МПа,  $T = 100^\circ\text{C}$ ): образец 1 – температура спекания  $1300^\circ\text{C}$ , образец 2 – температура спекания  $1250^\circ\text{C}$ . Порошковую смесь 40X готовили из отдельных порошков металлов.

В ходе проведенных исследований порошковой стали 40X было выявлено, температура спекания ( $1300^\circ\text{C}$  и  $1250^\circ\text{C}$ ) не влияет или влияет несущественно на структуру и свойства стали 40X.

Структура обоих образцов определена как ферритно-перлитная со средними размерами зерна феррита 15 мкм и перлита 16 мкм (рисунок 1).

Усадка образцов после спекания составляет 30 %. Плотность спеченных образцов 6,9 г/см<sup>3</sup>, что меньше плотности литой стали 40X на 12 % (7,85 г/см<sup>3</sup> [2]). Это значит, теоретическая пористость составляет 12 %, что расходится со значениями пористости,

определенными по нетравленным изображениям образцов (3 % и 5,27 %, рисунок 2). Вероятно, в объёме образцов имеются крупные поры.

Значения микротвердости образцов отличаются (1355,7 и 1248,4 МПа у образца 1 и образца 2 соответственно). Это различие связано с измерением микротвердости, очевидно, при измерении образца 2 укол попадал чаще на места с подповерхностными порами, что дало большие по размеру отпечатки индентора. Если сравнивать с твердостью литой стали 40Х (2212,8 МПа [2]), то спечённая сталь 40Х имеет твердость в 1,6 раза ниже. Это также объясняется неизбежным наличием пор в структуре спеченных образцов порошковой стали.

Вероятно, для достижения большей плотности и высокой микротвердости порошковой стали 40Х нужно увеличить температуру и/или время спекания.

Результаты исследования будут полезны при разработке технологии инъекционного формования.

#### **Список литературы**

1. Андриевский Р. А. Введение в порошковую металлургию. – Фрунзе: Илим, 1988. – 174 с.
2. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ЧАСТИЦ КАРБИДА ТИТАНА, ВВЕДЕННЫХ В ПОРОШКОВУЮ КОМПОЗИЦИЮ Fe-Ni НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Е.В. ДЕГТЯРЕВА, М.М. МАСАЛИТИНА, Е.В. АБДУЛЬМЕНОВА, О.Ю. ВАУЛИНА*  
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет  
E-mail: 676610469@qq.com

Инвар – это материал, обладающий уникально низким температурным коэффициентом расширения, но он имеет низкие прочностные и механические свойства. Эти недостатки ограничивают область применения сплава и снижают его эффективность. Повышение механических характеристик сплава без изменения низкого ТКР позволяет использовать его в высоконагруженных конструкциях. Повысить механические свойства можно несколькими способами, один из которых это добавление упрочняющих частиц в материал. Целью работы было исследовать влияние введенных в железоникелевый порошок частиц карбида титана на свойства и структуру спеченных образцов [1-2].

Объектами исследования работы стали четыре партии образцов изготовленные методом порошковой металлургии из порошков никеля и железа 36 % и 64 % соответственно с добавлением частиц карбида концентрацией (1 – 10) %. Формовали образцы методом холодного одноосного прессования при давлении 255 МПа. Спекание образцов проходило при температуре 1300 °С в течение двух часов с предварительной изотермической выдержкой два часа при температуре 600 °С. Охлаждение образцов проходило вместе с печью. Металлографический анализ проводили на лабораторном микроскопе «ЛабoМет-И». Микротвердость образцов измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

На рисунке 1 представлены РЭМ-изображения порошковой смеси инвара и карбида титана. Видно частицы инвара имеют сферическую форму с размером частиц около 4 мкм и долей сферичности 80 %. Порошок карбида напротив имеет неправильную угловатую форму с размером 12 мкм, доля сферичности всего 5 %.