

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ КЕРАМИК ВВЕДЕНИЕМ В ОСНОВНУЮ СТРУКТУРУ НИКЕЛЯ И ХРОМА

*А.А. Квасова<sup>1)</sup>, В.Н. Пучкин<sup>2)</sup>*

1) студентка Армавирского механико–технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [anna.kvasova.99@mail.ru](mailto:anna.kvasova.99@mail.ru)

2) к.т.н., доцент Армавирского механико–технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [puchkinvn@inbox.ru](mailto:puchkinvn@inbox.ru)

**Аннотация:** В результате проведённых исследований установлено, что наибольший эффект даёт совместное легирование молибденом и вольфрамом (в сумме до 8...9%), в основном за счёт повышения температуры до 1550 °С и разупрочнения твёрдого раствора, которые замедляют диффузию титана и хрома. В небольшом количестве они входят и в  $\gamma'$  – фазу, повышая её стойкость против – коагуляции. Выявлено, что кобальт в количестве 1,5...2 % значительно повышает длительную прочность РК при обработке частично тем, что повышает температуру разупрочнения твёрдого раствора, и тем, что он растворяется в  $\gamma'$  – фазе, которая в этом случае имеет состав  $(Ni, Co)_3(Ti, Al)$  и переходит в раствор при  $\theta = 1550$  °С. Кобальт повышает также пластичность и вязкость и улучшает ковкость РК на никелевой основе сплава.

Исследования выявлено влияния других легирующих элементов на РК, которые показали, что из элементов, растворяющихся в никельхромовой основе сплава в небольших количествах, существенно повышает жаропрочность ниобий, главным образом повышая температуру разупрочнения твёрдого раствора. Ниобий интенсифицирует также процессы дисперсионного твердения, вследствие уменьшения растворимости титана и алюминия, так как в состав  $\gamma'$  – фазы он не входит. Также выявлено, что введении больше 2%, Nb ухудшается ковкость сплава из РК. Наиболее эффективным оказалось легирование РК ниобием и молибденом одновременно. Цирконий входит в состав  $\gamma'$  – фазы РК, замещая в ней часть атомов титана, при этом повышает жаропрочность только при небольших содержаниях (0,10—0,15%).

**Ключевые слова:** ползучесть, фаза, твёрдость, стойкость, температура, режущая керамика, жаропрочность.

## INVESTIGATION OF THE HEAT STRENGTH OF CUTTING CERAMICS INTRODUCTION TO THE BASIC STRUCTURE OF NICKEL AND CHROME

*Anna A. Kvasova<sup>1)</sup>, Vladimir N. Puchkin<sup>2)</sup>*

1) the student Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [anna.kvasova.99@mail.ru](mailto:anna.kvasova.99@mail.ru)

2) Ph. D., associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [puchkinvn@inbox.ru](mailto:puchkinvn@inbox.ru)

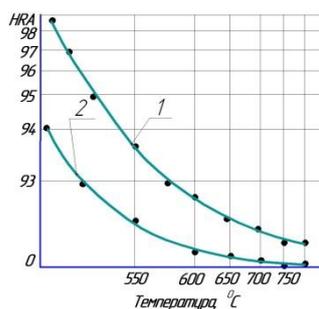
**Abstract:** As a result of the research conducted, it was found that joint doping with molybdenum and tungsten (up to 8 ... 9%) gives the greatest effect, mainly due to the temperature increase to 1550 ° C and the softening of the solid solution, which slow down the diffusion of titanium and chromium. In a small amount they enter the  $\delta$ - phase, increasing its resistance against  $\delta$ - coagulation. It was revealed that cobalt in the amount of 1.5 ... 2% significantly increases the long-term durability of the RK when processing partly by increasing the softening temperature of the solid solution, and by dissolving it in the  $\delta$ - phase, which in this case has the composition (Ni, Co)<sub>3</sub>(Ti, Al) and goes into solution at = 1550 ° C.

Cobalt also improves ductility and toughness and improves the ductility of RK on a nickel-based alloy. Studies have revealed the effects of other alloying elements on the Republic of Kazakhstan, which showed that of the elements that are dissolved in nickel-chromium-based alloy in small quantities, significantly increases the heat resistance of niobium, mainly increasing the softening temperature of the solid solution. Niobium also intensifies dispersion hardening processes due to a decrease in the solubility of titanium and aluminum, since it is not part of the  $\delta$ - phase. It was also revealed that with the introduction of more than 2%, Nb deteriorates the ductility of the RK alloy. The most effective was the alloying of Kazakhstan with niobium and molybdenum at the same time. Zirconium is a part of the RK phase, replacing some of the titanium atoms in it, while increasing the heat resistance only at low contents (0.10–0.15%).

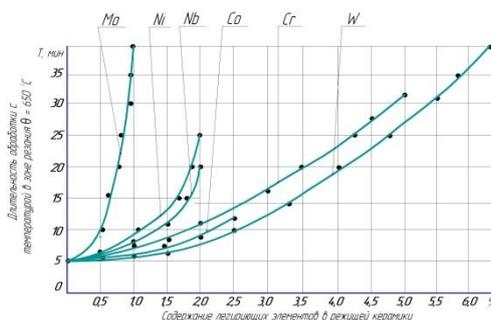
**Keywords:** creep, phase, hardness, resistance, temperature, cutting ceramics, heat resistance.

Настоятельная необходимость дальнейшего повышения жаропрочности инструмента, оснащённого пластинами из режущей керамики ВОР-60М

новой структуры, при резании труднообрабатываемых сталей марок 12X18H10T, 14X17H2, обусловлена введением легирующих элементов никеля и кобальта в стандартную РК. Новая структура РК ВОК-60М содержат до 5% Co (кобальта), и 2% Ni (никеля), вследствие чего их можно выделить в группу сплавов из РК на никелькобальтовой основе. Сплавы РК на основе никеля с хромом, обладают высокой жаростойкостью особенно это выявлено при обработке труднообрабатываемых сталей марок 12X18H10T, 14X17H2, инструментом оснащённым пластинами РК ВОК-60М. Так, из рисунка 1 [1] видно, что кривые зависимости предела ползучести (твёрдость, при которой средняя скорость ползучести не превосходит 20% в час) от температуры при содержании 2% Ni и 5% Cr в основной фракции РК, хотя за счет применения кратковременного отжига при температуре 1720...1740 °С и выдержкой до 10...12 мин при температуре  $\theta = 1650^{\circ}\text{C}$ , предел ползучести нихромовой РК может быть повышен. Поэтому РК содержащая нихромовую основу без дополнительного легирования применяются при обработки ТОС марок 12X18H10T, 14X17H2, где необходима высокая жаростойкость в зоне обработки (заготовка-инструмент).



а)



б)

Рисунок 1 – Графики изменение предела твердости РК и её ползучести от температуры и содержания легирующих элементов: а) 1 – РК ВОК-60М, легированная 5% Cr и 2% Ni; 2 – РК ВОК-60 в стадии поставки; б) при обработки ТОС 12X18H10T с температурой  $650^{\circ}\text{C}$

Как видно из рисунка 2 [1], на котором приведены для трех тройных систем границы фазовых областей при двух температурах (нижняя — температура нагрева для дисперсионного твердения), растворимость хрома в сплавах режущей керамики, содержащей легирующий элемент Ni, понижается при температурах прокаливания  $1550^{\circ}\text{C}$  до 3% при кратковременном режиме отжига при температуре  $1720^{\circ}\text{C}$  (рисунок 2, а). Упрочняющей фазой здесь является  $\text{Ni}_3\text{Ti}$  ( $\eta$  – фаза), не растворяющая никель, хром. Растворимость алюминия в РК, содержащей 2% Ni никеля и 5% Cr хрома изменяется при  $1720^{\circ}\text{C}$  до 0,5...1% Ni и 2,0...2,5% Cr при  $1550^{\circ}\text{C}$  (рисунок 2, б). Выделяющейся фазой здесь является  $\text{Ni}_3\text{Al}$  (фаза  $\gamma$

), представляющая собой сверхструктуру с гране-центрированной решеткой и растворяющая Ti, Cr, и другие легирующие элементы содержащиеся в РК с новой основой. Эта фаза обладает большой прочностью межатомной связи и стойкостью против коагуляции [1]. Из рисунка 2, в видно, что титан сильно понижает растворимость алюминия в никеле (при 1550° Cс 30% до ~15% при содержании 20% Ti). Поэтому к дисперсионному твердению оказываются способными РК с основой Ni – Cr, содержащие пониженное количество алюминия и титана. Стойкость фазы  $\gamma'$  настолько велика, что при перегреве сплава РК с новой основой она не коагулирует, а растворяется, так что при понижении температуры сплав снова упрочняется (обратимость процесса). Так как в фазе  $\gamma'$  большое количество оксида алюминия может быть замещено карбидом титана TiC, то степень упрочнения РК, зависит от их суммарного содержания в сплаве. Выявлено, что эффект упрочнения при одинаковом составе фазы  $\gamma'$  возрастает с увеличением ее количества (до 14%), а при одинаковом количестве  $\gamma'$  зависит от атомного отношения Al/Ti.

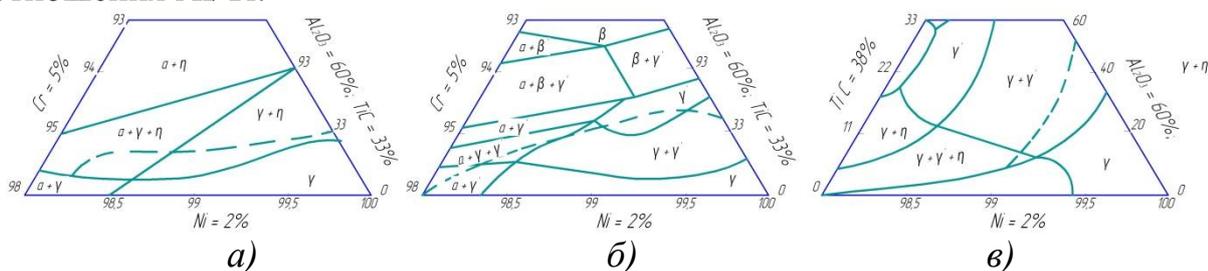


Рисунок 2 – Изотермические разрезы диаграммы состояния тройных систем в РК ВОК-60М при температурах прокаливания 1550 °С: а, б) – возможные варианты систем, Ni – Cr – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiC; в) – Ni – TiC – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Исследования выявлено влияния других легирующих элементов на РК [2], которые показали, что из элементов, растворяющихся в никельхромовой основе сплава в небольших количествах, существенно повышает жаропрочность ниобий (рисунок 1), главным образом повышая температуру разупрочнения твердого раствора. Ниобий интенсифицирует также процессы дисперсионного твердения, по-видимому, вследствие уменьшения растворимости титана и алюминия, так как в состав  $\gamma'$  – фазы он не входит. При введении больше 2%, Nbухудшается ковкость сплава. Наиболее эффективным оказалось легирование РК ниобием и молибденом одновременно. Цирконий входит в состав  $\gamma'$  – фазы РК, замещая в ней часть атомов титана, при этом повышает жаропрочность только при небольших содержаниях (0,10—0,15%). Влияние тантала и бериллия на РК либо не проявляется вообще, либо оказывается отрицательным [2]. Из элементов, растворяющихся в никель-хромовой основе РК, это молибден, кобальт,

которые повышают, а ванадий сначала не влияет, а затем понижает жаропрочность. Из рисунка 1 [2] видно, что вольфрам заметно повышает длительную прочность РК только при содержании его 6 – 7%, тогда как молибден при меньшем в 3 раза содержании.

Исследованиями установлено, что наибольший эффект дает совместное легирование молибденом и вольфрамом (в сумме до 8...9%), в основном за счет повышения температуры до 1550 °С и разупрочнения твердого раствора, которые замедляют диффузию титана и хрома. В небольшом количестве они входят и в  $\gamma'$  – фазу, повышая ее стойкость против – коагуляции.

Выявлено, что кобальт в количестве 1,5...2 % значительно повышает длительную прочность РК при обработке (рисунок 1) частично тем, что повышает температуру разупрочнения твердого раствора, и тем, что он растворяется в  $\gamma'$  – фазе, которая в этом случае имеет состав  $(Ni, Co)_3 (Ti, Al)$  и переходит в раствор при  $\theta = 1550$  °С. Кобальт повышает также пластичность и вязкость и улучшает ковкость РК на никелевой основе сплава.

В результате проведенных исследований установлено, что наибольший эффект дает совместное легирование молибденом и вольфрамом (в сумме до 8...9%), в основном за счет повышения температуры до 1550 °С и разупрочнения твердого раствора, которые замедляют диффузию титана и хрома. В небольшом количестве они входят и в  $\gamma'$  – фазу, повышая ее стойкость против – коагуляции. Выявлено, что кобальт в количестве 1,5...2 % значительно повышает длительную прочность РК при обработке частично тем, что повышает температуру разупрочнения твердого раствора, и тем, что он растворяется в  $\gamma'$  – фазе, которая в этом случае имеет состав  $(Ni, Co)_3 (Ti, Al)$  и переходит в раствор при  $\theta = 1550$  °С. Кобальт повышает также пластичность и вязкость и улучшает ковкость РК на никелевой основе сплава.

Исследования выявлено влияния других легирующих элементов на РК, которые показали, что из элементов, растворяющихся в никельхромовой основе сплава в небольших количествах, существенно повышает жаропрочность ниобий, главным образом повышая температуру разупрочнения твердого раствора.

#### **Список использованных источников:**

1. Пучкин В.Н., Корниенко В.Г., Литвинов А.Е. Схиртладзе А.Г. Физико-химическое исследование режущей керамики при механической обработке труднообрабатываемых сталей на станках с ЧПУ

(методология). Монография Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Краснодар. 2016.

2. Меськин В.С, Основы легирования стали Изд. второе, перераб. и доп. М.: Metallurgia, 1964. – 684 с.

3. Коврига Е.В. Термодинамика растворов кислорода, элементов-раскислителей и легирующих элементов в металлических расплавах на основе железа: дис. канд. хим. наук. – Краснодар, 2006. – 182 с.

4. Данилин В.Н., Коврига Е.В., Шевцов В.Е., Гусева Н.И., Бондаренко В.И. Термодинамика растворов кислорода и активности элементов в железо-никелевых расплавах // Научный потенциал вуза - производству и образованию: сборник научных материалов Межвузовской научно-практической конференции. – Армавир: Изд-во:, 2003. – С. 33-39.

5. Сергунцова В.В., Коврига Е.В. Термодинамика легирующих элементов в системе Fe-Cr-Si-O // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – Пенза: Изд-во: Издательский Дом "Академия Естествознания", 2012. – № 1. – С. 183-185.

6. Коврига Е.В., Данилин В.Н., Шевцов В.Е., Бондаренко В.И. Равновесие в системе железо-кремний-кислород-жидкие силикаты железа // Объединенный научный журнал. – М.: Изд-во Тезарус, 2003. – № 6(64). – С. 56-61.