

ФТІМС НАН України провів традиційний конкурс молодих учених України в галузі металургії, ливарного виробництва, металознавства та термічної обробки металів.

Редакція журналу друкує матеріали досліджень переможців конкурсу за номінацією "Металознавство та термічна обробка металів" лауреатів премії імені М. П. Брауна за 2011 р.

УДК 669.295:620.178.311.81

Вплив твердорозчинного зміцнення поверхні на механічні характеристики титанового сплаву VT1-0

В. С. Труш*

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів



Наведено експериментальні результати дослідження впливу твердорозчинного зміцнення поверхні на характеристики втоми та міцності титанового сплаву VT1-0. Встановлено діапазон оптимальних значень рівня поверхневого зміцнення для досягнення максимального підвищення механічних характеристик сплаву за різних умов навантаження.

Титан і сплави на його основі знаходять все більш широке застосування у якості конструкційних матеріалів у багатьох галузях промисловості. Основний стимул застосування титану – його висока питома міцність та корозійна стійкість в агресивних середовищах [1]. Однак деякі механічні властивості, зокрема, втоми, можна значно покращити шляхом поверхневого модифікування. Одним із перспективних методів управління механічними, трибологічними і корозійними властивостями титанових сплавів є хіміко-термічна обробка.

У Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України було запропоновано концепцію інженерії поверхні титанових сплавів термодифузійними методами. У рамках даної концепції розроблено спосіб підвищення втомої міцності та довговічності α - і псевдо α -сплавів титану шляхом регламентованого

* Перша премія ім. М. П. Брауна

Науковий керівник роботи чл.-кор. НАН України Федірко В.В.

твердорозчинного зміцнення (РТЗ) поверхневого шару металу з розрідженого контрольованого кисневмісного газового середовища повітря [2].

Твердорозчинне зміцнення ґрунтується на введенні в кристалічну решітку основного металу елементів втілення (кисню). При цьому кристалічна решітка металу спотворюється внаслідок різного розміру атомів компонентів, які утворюють твердий розчин втілення. Відомо, що в процесі пластичної деформації дислокації при своєму русі переборюють ці спотворення, що підвищує роботу опору деформуванню, а від так збільшує міцність металу. Досягнення регламентованого рівня приповерхневого зміцнення здійснюється керуванням інтенсивністю фізико-хімічних процесів на межі газ-метал за допомогою зміни параметрів хіміко-термічної обробки.

Метою роботи було встановлення впливу РТЗ на характеристики міцності та втому титанового сплаву ВТ1-0.

Матеріалом дослідження за різних умов навантаження був титановий сплав ВТ1-0 у відпаленому стані. На зразках із даного сплаву термодифузійним методом були сформовані поверхневі газонасичені шари глибиною 30 – 60 мкм з різним рівнем зміцнення $5\% < K < 100\%$, які визначали за величиною відносного приросту твердості поверхні $K = ((H_{\mu}^s - H_{\mu}^c) / H_{\mu}^c) \cdot 100\%$, де: H_{μ}^s – твердість поверхні металу, H_{μ}^c – твердість серцевини металу.

Зміцнені шари формували термодифузійним насиченням з розрідженого газового кисневмісного середовища в діапазоні газодинамічних параметрів $P = 1,33 \cdot 10^{-4} - 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, $I_{\mu} = 5 \cdot 10^{-5}$ Па · с⁻¹ за температури обробки $T = 750$ °С та витримки 1 – 5 год. Після цього зразки піддавали випробуванням на міцність і втому за різними схемами навантаження.

Для металографічних і дюрOMETричних досліджень використовували зразки розміром 10x15x1 мм. На обертовий згин та циклічний розтяг використовували циліндричні зразки з діаметром робочої частини відповідно 3,8 мм та 3 мм, а на малоцикловий чистий згин – плоскі зразки з шириною робочої частини 3 мм, товщиною 1 мм. Дослідження на сповільнене руйнування проводили на плоских зразках шириною 4 мм з V-подібним концентратором глибиною 0,5 мм.

Дослідження на втому при циклічному розтязі проводили на установці з інерційним силозбудженням від обертальних неврівноважених мас з частотою навантаження в інтервалі $\nu = 7 - 8$ Гц і коефіцієнтом асиметрії циклу напруження $R = 0,2$.

Згідно отриманих результатів, РТЗ у досліджуваному діапазоні не значно впливає на короткотривалу міцність σ_b та відносне видовження δ сплаву ВТ1-0. При цих параметрах зміна відносно вихідного (незміцненого) стану не перевищує $\pm 4\%$ (рис. 1).

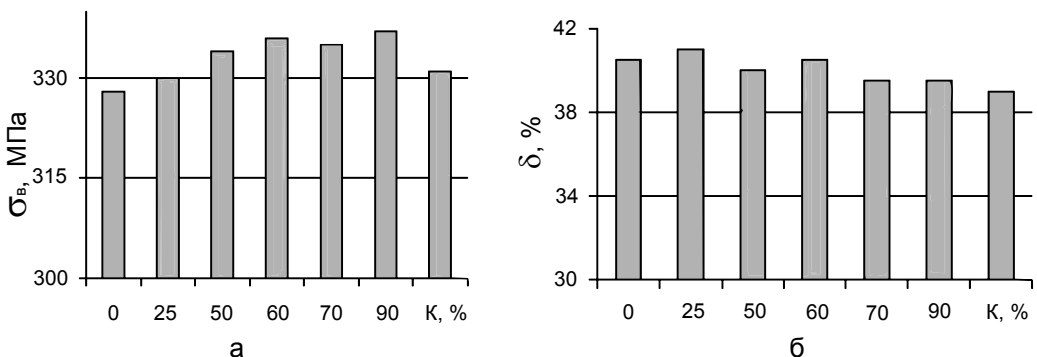


Рис. 1. Вплив твердорозчинного зміцнення титанового сплаву ВТ1-0 на короткотривалу міцність σ_b (а) і відносне видовження δ (б) в залежності від рівня поверхневого зміцнення K .

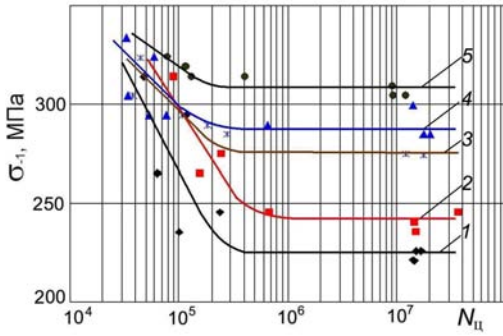


Рис. 2. Криві втоми (обертовий згин) сплаву VT1-0 після поверхневого зміцнення. 1 – вихідний стан $K = 5\%$, $l = 5$ мкм, 2 – 25 %, 30 мкм, 3 – 90 %, 30 мкм, 4 – 50 %, 30 мкм, 5 – 70 %, 30 мкм.

Втомні характеристики більш чутливі до РТЗ. Зі збільшенням рівня РТЗ K від 5 % до 50 %, границя втоми σ_{-1} титанового сплаву VT1-0 за умов обертового згину зростає від 250 МПа до 275 МПа. Максимального значення границі втоми $\sigma_{-1} = 310$ МПа досягнуто при рівні зміцнення $K = 70\%$. При подальшому зміцненні до $K = 90\%$ спостерігається пониження границі втоми до 280 МПа (рис. 2). Отже, найбільший відносний приріст границі втоми $\Delta\sigma_{-1}$ для сплаву VT1-0 при рівні зміцнення $K = 70\%$ становить 35 – 38 %.

За малоциклового чистого згину РТЗ підвищує довговічність при втомі титанового сплаву VT1-0 на $\sim 10 - 15\%$ (рис. 3). За умов циклічного розтягу зразків сплаву VT1-0 ($\sigma_a = 250$ МПа), зміцнених на $K = 40 - 50\%$, кількість циклів до руйнування збільшується на 100 – 120 % відносно вихідного стану (рис. 4).

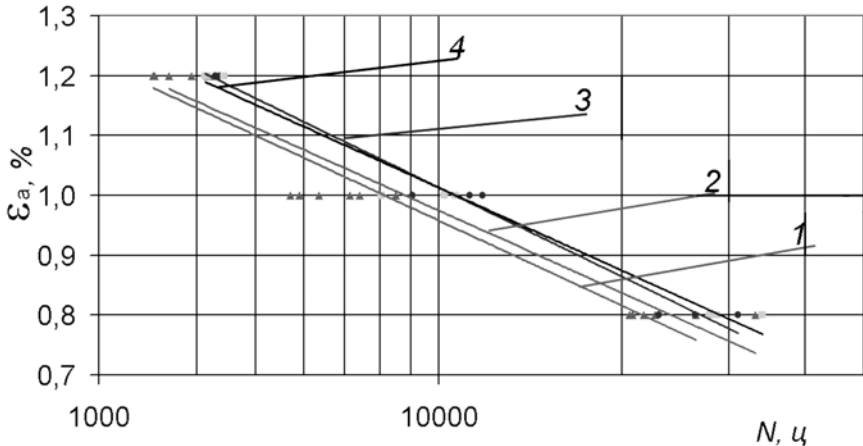


Рис. 3. Криві довговічності (малоцикловий чистий згин) сплаву VT1-0: 1 – вихідний стан $K = 5\%$; 2 – $K = 42\%$; 3 – 93 %, 30 мкм; 4 – $K = 110\%$.

Виявлено, що РТЗ позитивно впливає на властивості сплаву VT1-0 при сповільненому руйнуванні за умов статичного навантаження. Так руйнівні напруження для зразків зі зміцненим на рівень $K = 90 - 110\%$ поверхневим шаром на базі 1000 год. збільшуються на 7 – 10 %, тобто такі зразки менш схильні до сповільненого руйнування (рис. 5).

Згідно результатам рентгеноструктурного аналізу для всіх досліджених рівнів зміцнення зразків сплаву VT1-0 характерні: деформація кристалічної решітки; подрібнення субзеренної структури; зміна знаку стискуючих напружень порівняно з вихідним станом. Проте зміцнення на оптимальний рівень ($K = 70\%$, $l = 30$ мкм за умов обертового згину) порівняно з $K = 50\%$ і 90% сприяє: найбільшій деформації кристалічної решітки металу, максимальному подрібненню його субзеренної структури, виникненню максимального рівня стискуючих напружень.

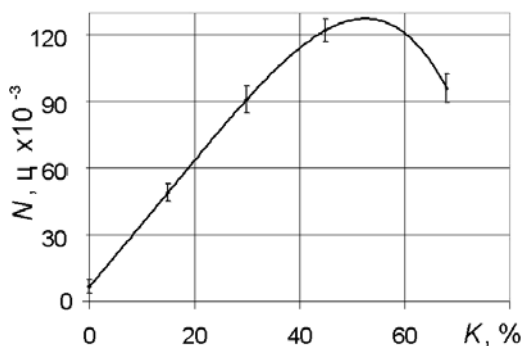


Рис. 4. Кількість циклів до руйнування сплаву VT1-0 за умов циклічного розтягу при напруженні $\sigma_a = 0,7 \cdot \sigma_B$ (σ_B – короткотривала міцність у вихідному стані).

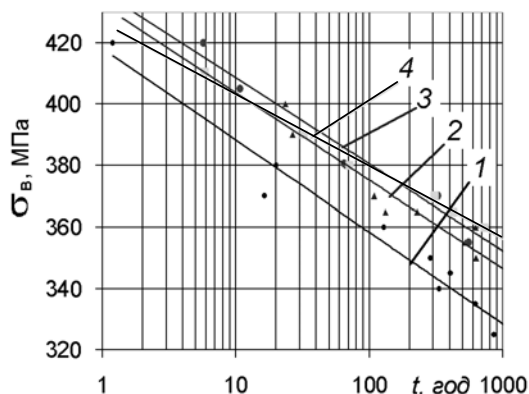


Рис. 5. Залежність руйнівних напружень від часу їх дії при дослідженнях на статичне руйнування сплаву VT1-0. 1 – $K = 5\%$, 2 – $K = 42\%$, 3 – $K = 93\%$, 4 – $K = 110\%$.

Таким чином, за допомогою РТЗ поверхні металу домішками втілення термодифузійним зміцненням з розрідженого газового середовища можна досягнути суттєвого підвищення втомних характеристик титанового сплаву VT1-0 практично не змінюючи його міцність і пластичність, а також зменшити схильність до сповільненого руйнування при покращенні характеристик втоми за різних умов навантаження. Так за умов обертовому згину границя втоми зростає на 35 – 38 %; за умов малоциклового чистого згину втомна довговічність збільшується на ~ 10 – 15 %; за умов циклічного розтягу максимальна кількість циклів до руйнування зростає на 100 – 120 %; максимальний приріст руйнівних напружень за умов статичного навантаження на базі 1000 год. становить 7 – 10 %.

Література

1. Ильин А. А., Колачев Б. А., Польшкин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справ. – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. – 520 с.
2. Федірко В. М., Пічугін А. Т., Лук'яненко О. Г. Оцінка експлуатаційної придатності виробів з титанових сплавів різних структурних класів з газонасиченими шарами. // ФХММ. – 1996. – № 6. – С. 49 – 54.

Одержано 16.02.11

В. С. Труш

Влияние твердорастворного упрочнения поверхности на механические характеристики титанового сплава VT1-0

Резюме

Приведены экспериментальные результаты исследования влияния твердорастворного упрочнения поверхности на характеристики усталости и прочности титанового сплава VT1-0. Установлен диапазон оптимальных значений поверхностного упрочнения для достижения максимального повышения механических характеристик сплава при различных условиях нагрузки.

V. S. Trush

Influence of solid-solution hardening of the surface on mechanical characteristics of the titanium alloy BT1-0

Summary

Experimental results of the research of solid solution hardening influence on fatigue and strength characteristics of titanium alloy BT1-0 have been presented. The range of optimum values of a level of superficial hardening for achievement of the maximal increase of mechanical characteristics of an alloy under different loading conditions is established.

УДК 669.017.11

Фазові рівноваги в системі $Ti - Zr - Mn$

В. А. Дехтяренко*

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ



Методом скануючої електронної мікроскопії і енергодисперсійного рентгеноспектрального аналізу вивчено мікроструктуру та встановлено хімічний склад фаз, що утворюються при кристалізації евтектики за реакцією $L \leftrightarrow \beta (Ti, Zr, Mn) + \lambda (Ti, Zr)Mn_{2-x}$ у сплавах системи $Ti - Zr - Mn$ з різним вмістом цирконію.

У системі $Ti - Zr - Mn$ авторами [1, 2] показано існування безперервного ряду твердих розчинів між ізоструктурними сполуками $TiMn_2$ і $ZrMn_2$. У роботах [3, 4] досліджувалися фазові рівноваги в області складів $Ti - TiMn_2 - ZrMn_2 - Zr$. В результаті було побудовано поверхню солідусу титанового кута потрібної системи, проекції поверхонь солідусу і ліквідусу, а також ряд політермічних перетинів [4]. У роботі [5] були представлені діаграми з метастабільними фазами, які формуються у литих припійних матеріалах.

Метою даного дослідження було уточнення положення евтектичної бінодалі в обмеженій області $Ti - TiMn_2 - ZrMn_2 - Zr$ системи $Ti - Zr - Mn$ та встановлення хімічного складу фаз, що утворюються при кристалізації евтектики за реакцією $L \leftrightarrow \beta (Ti, Zr, Mn) + \lambda (Ti, Zr)Mn_{2-x}$.

Для виявлення особливостей зародження та росту евтектичних колоній та визначення складу первинних кристалів і евтектики у сплавах системи $Ti-Zr-Mn$ було вибрано сплави, склад яких наведено у табл. 1.

*Друга премія ім. М.П. Брауна.

Науковий керівник роботи доктор технічних наук, професор Іванченко В.Г.