

УДК 539.3

**Микола Чаусов, д-р. техн. наук, проф.^а; Павло Марущак, д-р. техн. наук, проф.^б;
Владислав Шманенко^а**

^аНаціональний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

^бТернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна

ЕФЕКТИ СУМІСНОГО ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ НЕЗРІВНОВАЖЕНИХ ПРОЦЕСІВ І КРІОГЕННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ НА ЗМІНУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ AISI 201

Аналізуються нові механічні ефекти, які пов'язані з різким падінням деформації нержавіючої сталі AISI 201 при попередньому сумісному впливі динамічних незрівноважених процесів зростаючій інтенсивності і кріогенного охолодження.

Ключові слова: динамічні незрівноважені процеси, ударно-коливальне навантаження, нержавіюча сталь, зміна механічних властивостей.

Mykola Chausov, DSc, Prof.; Pavlo Maruschak, DSc, Prof.; Vladyslav Shmanenko COMBINED EFFECTS OF DYNAMIC NON-EQUILIBRIUM PROCESSES AND CRYOGENIC COOLING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 201 STEEL

The paper analyzes new mechanical effects associated with a sharp drop in the strain of AISI 201 stainless steel under the prior combined influence of dynamic non-equilibrium processes of increasing intensity and cryogenic cooling.

Keywords: dynamic non-equilibrium processes, impact-oscillatory loading, stainless steel, evolution of mechanical properties.

Грунтуючись на оригінальній методиці реалізації динамічних незрівноважених процесів (ДНП) за ударно-коливального навантаження (УКН), авторами розпочато новий цикл досліджень, який присвячено оцінюванню попереднього сумісного впливу УКН різної інтенсивності і кріогенного охолодження на зміну структурного стану і механічних властивостей нержавіючих сталей [1-3]. Актуальність цих досліджень зумовлена тим, що нержавіючі сталі, які, зокрема, широко застосовуються в ракетно-космічній техніці, можуть зазнавати складних режимів навантаження, зокрема ударно-коливальних. Однак у світовій літературі практично відсутні результати подібних експериментів.

Попередні результати свідчать [1-3], що залежно від вихідного хімічного складу та початкових механічних властивостей нержавіючих сталей відгук матеріалів на попередній вплив такого складного навантаження є різним. Особливо цікавим є факт, відповідно до якого опір ударно-коливальному навантаженню деяких нержавіючих сталей, в середовищі рідкого азоту, є незначним. За невеликих значень імпульсного введення енергії ($\epsilon_{\text{імп.}} > 2,7 \%$) зразки таких сталей руйнуються [3]. В іншій нержавіючій сталі AISI 301 за поступового збільшення $\epsilon_{\text{імп}}$ виникають ефекти стрімкого зниження пластичності при повторному статичному розтязі за кімнатної температури [2].

Дослідження стрімкого зниження пластичності нержавіючої сталі за комбінованого впливу УКН різної інтенсивності та кріогенного охолодження заслуговує додаткової уваги. На нашу думку, важливо встановити який фактор є визначальним для нержавіючих сталей під час прояву такого механічного ефекту за заданих умов навантаження – вихідний хімічний склад чи початкові механічні

властивості. Тому в цьому випадку для досліджень і порівняння ефектів обрано високомарганцеву аустенітну сталь AISI 201, механічні властивості якої близькі до властивостей сталі AISI 301, а хімічний склад суттєво відрізняється.

Метою цієї роботи є дослідження нових ефектів сумісного впливу криогенного охолодження та УКН різної інтенсивності на зміну механічних властивостей високомарганцевої аустенітної сталі AISI 201.

Експериментальні дослідження проводили на модифікованій випробувальній машині ZD-100Pu з пристосуванням для імпульсного введення енергії за рахунок УКН різної інтенсивності та додатково встановленою камерою охолодження за методикою, детально описаною в працях [1-3]. Час попередньої криогенної витримки зразків із досліджуваних сталей становив 1 годину. Діапазон імпульсного введення енергії в сталі визначався $\epsilon_{\text{імп.}} = 3,09 \dots 13,4\%$.

На рис. 1 наведено результати експериментальних досліджень циліндричних зразків діаметром 6,5 мм. Ліва координата на рис. 1 – шкала деформації сталей, права – шкала межі міцності. Цифрами позначені номери випробуваних зразків.

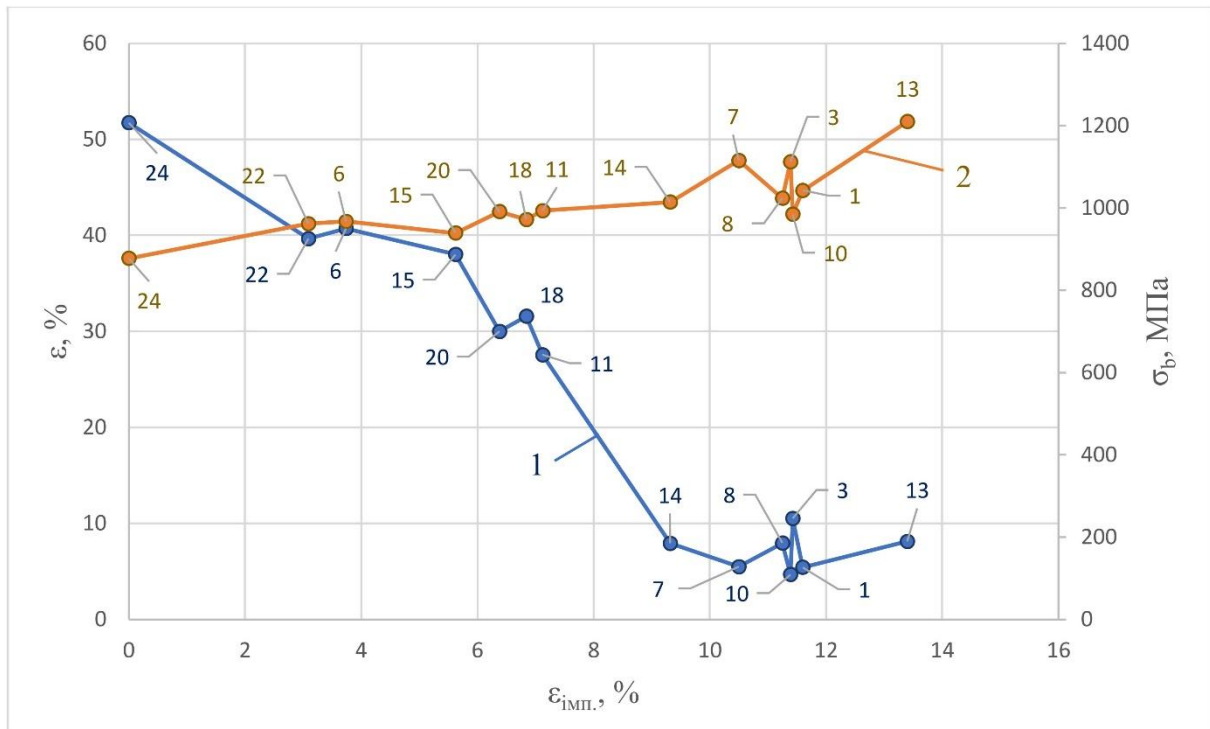


Рисунок 1. Зміна механічних властивостей нержавіючої сталі AISI 201 залежно від величини $\epsilon_{\text{імп.}}$ у рідкому азоті: 1 – зміна пластичності; 2 – зміна межі міцності; номери на графіку – номери зразків.

Оскільки для кожного діапазону $\epsilon_{\text{імп.}}$ механічні властивості сталі за подальшого статичного розтягу значно відрізняються, то для прикладу (зокрема для зразків 15, 14, 10) наведено криві деформування після заданого режиму навантаження порівняно з вихідним станом (рис. 2). Така форма подання даних наочно демонструє, за яких значень $\epsilon_{\text{імп.}}$ одночасно зі зростанням межі міцності ще наявна достатня пластичність матеріалу, а за якої – на тлі значного зміцнення вона стрімко падає.

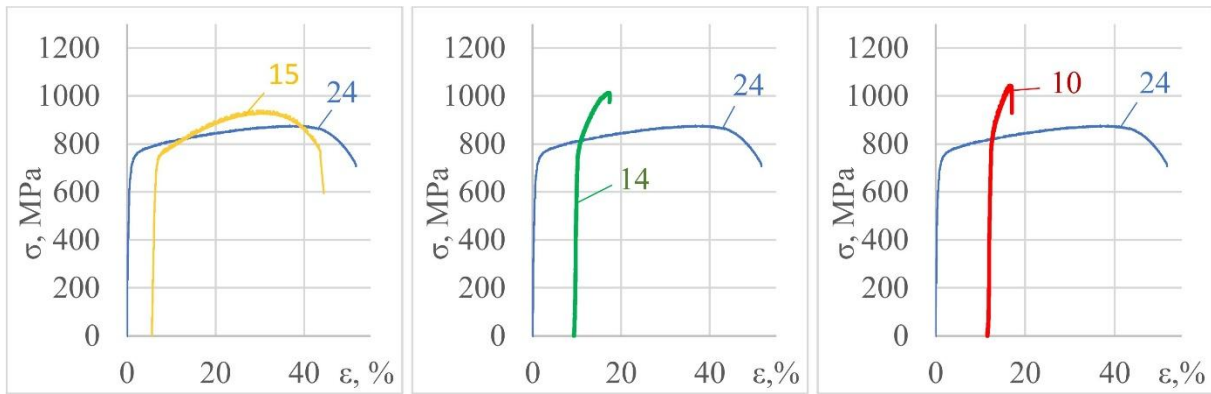


Рисунок 2. Криві деформацій сталі AISI 201 після заданих складних режимів навантаження: крива 15 ($\epsilon_{\text{імп.}} = 5,62\%$), крива 14 ($\epsilon_{\text{імп.}} = 9,35\%$), крива 10 ($\epsilon_{\text{імп.}} = 11,39\%$) порівняно з кривою деформацій сталі у вихідному стані за нормальної температури (крива 24).

Проведений аналіз результатів механічних випробувань нержавіючої сталі AISI 201 за сумісного впливу попередньої криогенної витримки протягом 1 години та ДНП різної інтенсивності підтвердив перспективність запропонованої методики випробувань. Це стосується як оцінювання критичного $\epsilon_{\text{імп.}}$, так і визначення діапазону цього параметра, який забезпечить його використання в технологічних цілях.

Виявлено складний характер зміни механічних властивостей досліджуваної сталі під час подальшого статичного розтягування за кімнатної температури залежно від інтенсивності імпульсного введення енергії. Встановлено, що за такого розтягування міцнісні характеристики сталі покращуються, а деформаційні - погіршуються. Так, наприклад, у діапазоні $\epsilon_{\text{імп.}} = 11,39...11,6\%$ проявляється ефект значного падіння пластичності до величини $4,67\%$. При максимальній інтенсивності імпульсного введення енергії $\epsilon_{\text{імп.}} = 13,4\%$, під час повторного статичного розтягування за кімнатної температури межа міцності сталі зростає на $37,9\%$, а деформація залишається на рівні $8,11\%$.

Порівняльний аналіз даних механічних випробувань сталей AISI 201 і AISI 301 [2] за аналогічних умов складного навантаження виявив подібний характер механічної поведінки сталей. Цікаво, що і мінімальні значення деформації сталей ($4,67\%$ для сталі AISI 201 та $3,83\%$ для сталі AISI 301) є близькими за своїми значеннями та виникають за майже однакових величин $\epsilon_{\text{імп.}}$, у діапазоні $\epsilon_{\text{імп.}} = 11,11...11,39\%$. Автори пов'язують цей факт із практично однаковими значеннями межі міцності обох досліджених сталей.

Перелік посилань

1. Chausov M., Maruschak P., Pylypenko A., Shmanenko V., Brezinová J., Lisnichuk M. The effects of cryogenic treatment and impact-oscillatory loading on changes in the mechanical properties and structural condition of stainless steel 12Kh18N10T, *Materials Science and Engineering A* 913 (2024) 147007, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.147007>
2. Chausov M., Maruschak P., Pylypenko A., Shmanenko V., Lisnichuk M., Yudina D., Sovák P. Changes in the mechanical properties and structural condition of stainless steel AISI 301 caused by the combined effect of impact-oscillatory loading and cryogenic cooling. Effects caused by holding specimens in liquid nitrogen for 1 h, *Vacuum* 240 (2025) 114541, <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2025.114541>
3. Chausov M., Maruschak P., Pylypenko A., Shmanenko V., Lisnichuk M., Yudina D., Sovák P. Risks Associated with the Use of Stainless Steel X10CrNi18-8 Under Combined Impact-Oscillatory Loading and Cryogenic Cooling. *Metals* 16(1), (2026) 30, <https://doi.org/10.3390/met16010030>