

Metalozn. obrobka met. 2025, vol. 31 (115), 67-71
<https://doi.org/10.15407/mom2025.03.067>

УДК 621.771 : 669.141.018

Високотемпературна механічна обробка ресорного прокату в умовах малого підприємства

Єфименко І. В., директор, ressori@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7233-8098>

Вакула Л. А., кандидат технічних наук, науковий консультант, vakula_im@ukr.net,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6203-3161>

ТОВ «Український ресорний центр», Харків, Україна

На одноклітьовому стані 180 підприємства Український ресорний центр були проведені експерименти з високотемпературної механічної обробки (ВТМО) прокату в процесі гарячого перекату ресорних стрічок на менші потрібні товщини. ВТМО прокату зі сталі 55Cr3, проведене при гарячому перекаті стрічки товщиною 14 мм на товщину 12 мм, показало можливість суттєво впливати на механічні властивості прокату.

При всіх режимах ВТМО значно підвищує міцність сталі при задовільному рівні ударної в'язкості та знижених показниках пластичності. Варіювання температурою кінця прискореного охолодження та температурою відпуску дозволяє впливати на механічні характеристики прокату за рахунок чого отримали їх значення, що відповідають нормам стандарту ТУ 8429.

При гартуванні сталі з пічного нагріву та відпуску в структурі присутній пластинчастий троостит з окремими мікротріщинами та наслідками високотемпературного окислення. Натомість після ВТМО з післядеформаційною паузою 0,2 с сталь набуває більш тонкодисперсну структуру голчастого трооститу без вищезазначених дефектів. Відпуск при температурі 470 °С знизив твердість, усунув залишковий аустеніт, дозволив отримати тонкодисперсну структуру сорбіту відпуску.

Порівняння механічних властивостей та структури сталі при збільшенні післядеформаційної паузи з 0,2 с до 5 с показало збільшення міцності та зменшення пластичності та в'язкості сталі, а також рівня дисперсності структури. При паузі 0,2 с за рахунок тонкодисперсної структури та підвищених в'язкості сталі попереджено виникнення тріщин після прискореного охолодження прокату в процесі ВТМО. Навпаки, збільшення післядеформаційної паузи до 5 с привело до появи окремих термічних тріщин, які інколи спостерігаються також після гартування сталі 55Cr3 з пічного нагріву.

Ключові слова: ресорна сталь, ВТМО, механічні властивості, структура.

В сучасних умовах на нашому ринку спостерігається дефіцит металопродукції як марочного, так і розмірного сортаменту. З метою ліквідації цього дефіциту на нашому підприємстві була створена прокатна кліть 180 для гарячої прокатки сортового прокату. Кліть використовується, зокрема, для

перекату ресорної стрічки більшої товщини на потрібну меншу, наприклад, стрічки завтовшки 14 мм, що є на складі підприємства, на товщину 12 мм.

В процесі експлуатації кліть була модернізована з метою прискорення післядеформаційного охолодження прокату в спеціально розробленій вивідній проводці-спрейері. Таке переоснащення дало можливість реалізувати технологію ВТМО за рахунок прискореного охолодження прокату безпосередньо після його виходу з валків з мінімальною післядеформаційною паузою [1].

Відомо, що важливою перевагою цього процесу є здатність одночасно підвищувати показники міцності, пластичності та в'язкості металу. Останнє також є особливо важливим в наших умовах для підвищення спротиву металу виникненню та розповсюдженню тріщин, які періодично виникають в процесі його термічного оброблення. Найбільш часто це траплялося на ресорній стрічці зі сталі марки 55Cr3 згідно з DIN 17221 (аналог – сталь 50ХГА згідно ДСТУ 8429). Дослідження якості металу показало наявність вуглецевої ліквіації в окремих партіях прокату, яка і була причиною виникнення тріщин (рис.1).

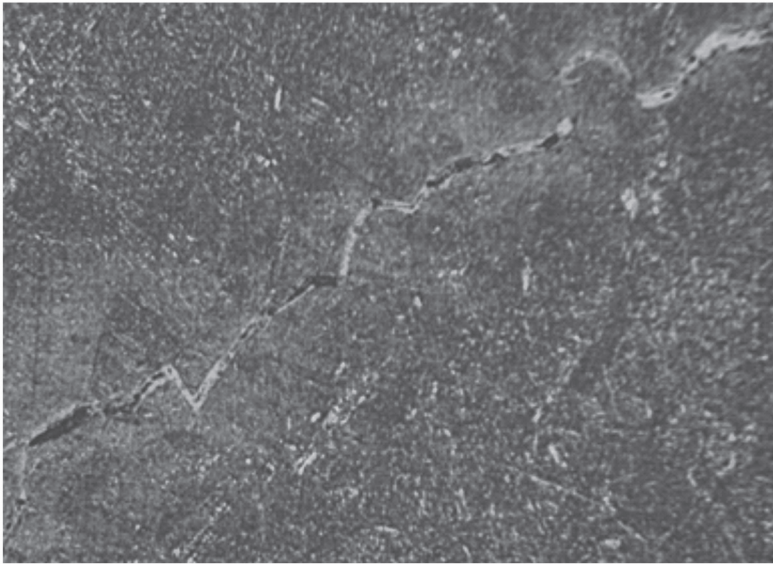


Рис. 1. Мікротріщина в сталі 55Cr3 після гартування та відпускання зі слідами високотемпературного окислення x200.

Fig. 1. Microcrack in steel 55Cr3 after tempering and vacation from on tracks high temperature oxidization of x200.

Дослідження процесу ВТМО проводили на стрічці товщиною 12 мм зі сталі 55Cr3, яку отримали шляхом перекачу стрічки завтовшки 14 мм за один прохід. Температура прокатки склала 870 °С, ступінь відносної деформації – 15 %, час прискореного охолодження – 6 с, температура кінця охолодження – 400-450 °С (в залежності від тиску води в спреєрі). Післядеформаційна пауза складала 0,2 с та 5 с. Досліджували механічні властивості сталі і мікроструктуру сталі після ВТМО без відпуску, а також після відпуску при

температурі 470 °С. В таблиці приведені результати механічних випробувань сталі.

При всіх режимах ВТМО отримано значне підвищення міцності та твердості сталі при деякому зниженні пластичності у порівнянні з нормами ДСТУ 8429 для сталі 50ХГА. При цьому збільшення післядеформаційної паузи у всіх випадках привело як до більшого зростання характеристик міцності сталі, так і до зниження пластичності. Зокрема, твердість склала 49-51 HRC без відпуску, а після відпуску при температурі 470 °С знизилася до 38-41 HRC (таблиця).

Механічні властивості ресор із сталі 55Cr3 після ВТМО

Mechanical strength of resors made of steel 55Cr3 after HTMT

Т*, с	σ, МПа	σ, МПа	Δ, %	ψ, %	KCU, МДж/м ²	HRC
0,2	1630	1410	5,8	20	0,4	49
	1370	1270	6,3	25	0,4	38
5	1720	1580	5,3	16	0,5	51
	1420	1310	5,9	20	0,51	41
Примітка: над рискою – без відпуску, під рискою – після відпуску						
* Післядеформаційна пауза						

Згідно існуючим нормам твердість ресор для автомобільного транспорту повинна знаходитись в межах 363-464 НВ (38,8-46,4 HRC), для залізничного транспорту – 363-432 НВ (38,8-43,5 HRC). Отже, за рахунок варіювання температурою кінця прискореного охолодження та температурою відпуску можливе отримання значень твердості сталі 55Cr3 після ВТМО в межах норм стандартів при прокатці згідно існуючій технології без суттєвої зміни температурно-деформаційних параметрів.

Дослідження мікроструктури сталі після ВТМО як без відпуску, так і після нього показало її вищу дисперсність у порівнянні зі стандартним термічним обробленням згідно ДСТУ 8429. Структура сталі після стандартної термічної обробки – пластинчастий троостит з окремими мікротріщинами з наслідками високотемпературного окислення (рис. 2 а).

Після ВТМО без відпуску структура сталі уявляє собою голчастий троостит з помірною неоднорідністю за мікротвердістю, яка сформована наявністю нерівномірності м'якої складової структури аустеніту залишкового (рис. 2 б).

Відпуск при температурі 470 °С знижує твердість, усуває залишковий аустеніт, стабілізує розміри та вирівнює мікротвердість [2]. Структура сталі – сорбіт відпуску (рис. 2 в).

Результати експерименту показали покращення комплексу механічних властивостей ресорно-пружинної сталі без значних додаткових витрат. Подрібнення мікроструктури сталі, підвищення її в'язкості та пластичності дозволяє прогнозувати покращення експлуатаційних характеристик, зокрема, втомної міцності та витривалості.

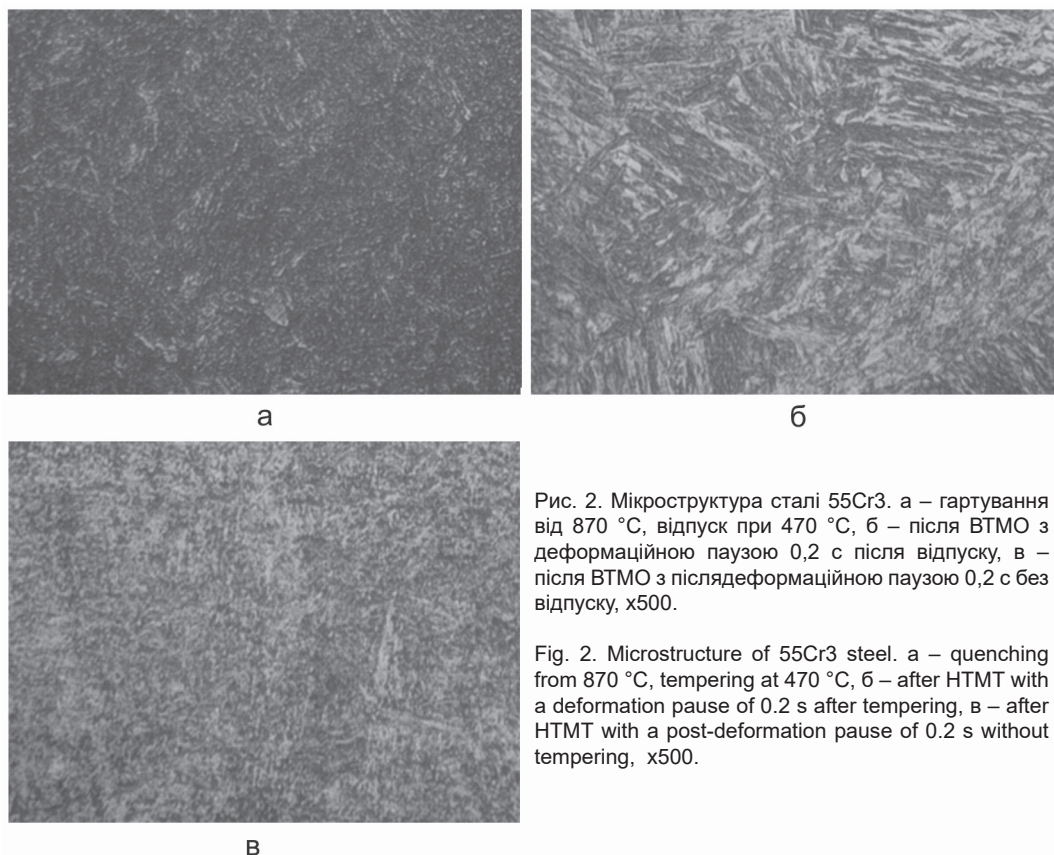


Рис. 2. Мікроструктура сталі 55Cr3. а – гартування від 870 °С, відпуск при 470 °С, б – після ВТМО з деформаційною паузою 0,2 с після відпуску, в – після ВТМО з післядеформаційною паузою 0,2 с без відпуску, х500.

Fig. 2. Microstructure of 55Cr3 steel. а – quenching from 870 °C, tempering at 470 °C, б – after HTMT with a deformation pause of 0.2 s after tempering, в – after HTMT with a post-deformation pause of 0.2 s without tempering, х500.

Література

1. Жадан В. Т., Воронцов Н. М., Кулак Ю. Е., Трусов В. А., Прихотько В. П., Осадчий В. А. Производство проката из рессорно-пружинной стали. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
2. Вакула Л. А., Масык В. П., Краснопольский В. М., Лехтман А. А., Попов А. С. Освоение технологии ДТО проката и оборудования для меж- и последеформационного охлаждения проката в потоке нового стана 350 // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 32-36.

References

1. Zhadan, V. T., Vorontsov, N. M., Kulak, Yu. E., Trusov, V. A., Prykhotko, V. P., & Osadchyi, V. A. (1984). *Proizvodstvo prokata iz resorno-pruzhinnoi stali* [Production of rolled products from spring steel]. Moskva: Metallurgiya. [in Russian]
2. Vakula, L. A., Masyk, V. P., Krasnopskyi, V. M., Lekhtman, A. A., & Popov, A. S. (2003). *Osvoenie tekhnologii DTO prokata i oborudovaniya dlya mezh- i posledeformatsionnogo okhlazhdeniya prokata v potoke novogo stana 350* [Mastering the DTO technology of rolled products and equipment for inter- and

post-deformation cooling of rolled products in the flow of the new 350 mill]. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost, (6), 32-36. [in Russian].

Одержано 17.07.25

High-temperature mechanical treatment of spring rolled products in a small enterprise

I. V. Efimenko, Director, resori@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7233-8098>

L. A. Vakula, Candidate of Technical Sciences, Scientific Advisor, vakula_im@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6203-3161>

LLC "Ukrainian Spring Center", Kharkiv, Ukraine

Summary

On the single-stand mill 180 of the Ukrainian Spring Center, experiments were conducted on high-temperature mechanical treatment (HTMT) of rolled steel during hot rolling of spring strips to the required thicknesses. HTMT of rolled steel 55Cr3, carried out during hot rolling of a strip with a thickness of 14 mm to a thickness of 12 mm, showed the ability to significantly affect the mechanical properties of the rolled steel.

In all modes, HTMT significantly increases the strength of the steel with a satisfactory level of impact toughness and reduced plasticity. Varying the temperature of the end of accelerated cooling and the tempering temperature allows you to influence the mechanical characteristics of the rolled steel, due to which their values were obtained that meet the norms of the TU 8429 standard.

When hardening steel from furnace heating and tempering, the structure contains lamellar troostite with individual microcracks and the effects of high-temperature oxidation. Instead, after HTMT with a post-deformation pause of 0.2 s, the steel acquires a more finely dispersed structure of acicular troostite without the above-mentioned defects. Tempering at a temperature of 470 degrees C reduced the hardness, eliminated residual austenite, and allowed obtaining a finely dispersed structure of tempering sorbite.

Comparison of the mechanical properties and structure of steel with an increase in the post-deformation pause from 0.2 s to 5 s showed an increase in strength and a decrease in the plasticity and toughness of steel, as well as the level of dispersion of the structure. With a pause of 0.2 s, the appearance of cracks after accelerated cooling of the rolled product during the HTMT process was prevented due to the finely dispersed structure and increased toughness of the steel. On the contrary, an increase in the post-deformation pause to 5 s led to the appearance of individual thermal cracks, which are sometimes also observed after quenching of 55Cr3 steel from furnace heating.

Keywords: spring steel, HTMT, mechanical properties, structure.