

УДК 539.4

**О. Гопкало, канд. техн. наук; В. Клипачевський**

*Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України*

## **ВПЛИВ ВІДМІННОСТЕЙ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ НАПЛАВЛЕННЯ ТА ОСНОВИ НА НДС РОЛИКІВ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК**

*Резюме.* Чисельним моделюванням розглянуто вплив співвідношень коефіцієнтів лінійного розширення і теплопровідності металів основи та наплавлення, їх механічних властивостей на формування поля напружень поблизу контакту ролика зі слябом. Показано, що варіюванням значень цих співвідношень можливо регулювати величину та знак напружень на поверхні ролика. Встановлено, що чим більша різниця в значеннях теплофізичних коефіцієнтів, тим суттєвіше її вплив на НДС ролика.

*Ключові слова:* коефіцієнт лінійного розширення, коефіцієнт теплопровідності, термопружність, напружено-деформований стан, ролик машини безперервного лиття заготовок, напруження, еюра напружень.

**O. Gopkalo, V. Klipachevskiy**

## **EFFECT OF DISTINCTIONS BETWEEN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CLADDING METAL AND BASE METAL ON THE STRESS-STRAIN STATE OF ROLLERS OF CONTINUOUS BILLET CASTING MACHINES**

*The summary.* Numerical simulation was used to study the effect of the relationships between coefficients of linear expansion and thermal conductivity of the base metal and cladding metal as well as of their mechanical properties on the stress-strain state formation near the roller-to-slab contact. It is shown that by varying the values of these relationships it is possible to adjust the magnitude and sign of the stress on the roller surface. It is found that the larger the difference in thermal coefficients, the more significant is its effect on the stress-strain state of the roller.

*Key words:* coefficient of liner expansion, thermal conductivity coefficient, thermoelasticity, stress-strain state, roller of continuous billet casting machine, stress, stress diagram.

**Вступ.** Унаслідок високої ефективності безперервна розливка сталі є єдиним способом для отримання слябів і блювів. На високопродуктивні слябові машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), які забезпечують широкополосні стани заготовками, з яких прокатують товсто- та тонколистовий прокат, припадає приблизно 2/3 загального об'єму безперервного лиття заготовок [1, 2]. Завдяки відносно великій ширини слябу та його товщини, ролики, які працюють у складних умовах термомеханічного навантаження, є найбільш напруженими і визначають ресурс МБЛЗ. При експлуатації ролики підлягають циклічному нагріванню при контакті зі слябом при явному охолодженні технічною водою його вільної поверхні. Ролики МБЛЗ виготовляють із теплостійких конструкційних сталей, які не завжди відповідають вимогам корозійної стійкості. Тому на практиці для підвищення корозійної стійкості роликів на його поверхню наплавають шар металу з вищими характеристиками опору корозійним середовищам [3].

Оскільки ролики МБЛЗ працюють у складних умовах циклічного термомеханічного навантаження, то в даній роботі чисельним моделюванням зроблена спроба оцінити вплив відмінностей фізико-механічних властивостей металу наплавлення та основи на формування НДС роликів МБЛЗ. Оскільки НДС ролика від експлуатаційних (термічних та механічних) навантажень залежить від технологічного

процесу, який не підлягає ревізії, то для роликів з наплавленням зниження абсолютних значень термічних напружень на його поверхні можливо здійснити шляхом зміни температурного поля по поперечному перерізу за рахунок відмінностей коефіцієнтів лінійного розширення (КЛР), температуропровідності (КТП), теплопровідності (КТ), теплоємності (КТЕ), густини, модулів пружності, модулів зсуву та коефіцієнтів Пуассона основного металу та металу наплавлення.

В даній роботі оцінка НДС ролика виконана розрахунковим шляхом на основі скінчено-елементної моделі при варіюванні фізико-механічних властивостей поверхневого шару відносно металу основи. Оцінювання проведено для реальних конструкційних сталей для реальних експлуатаційних умов навантаження.

**Залежність фізико-механічних властивостей матеріалів від температури.** При визначенні НДС у поверхневому шарі ролика в умовах термоциклювання для розв'язку задачі теплопровідності та термопружності використовують теплофізичні та механічні характеристики матеріалів, які не залишаються постійними при зміні температури. Залежність значень теплофізичних та механічних характеристик матеріалів від температури наведено на рис. 1, яку отримано із табличних даних роботи [4]. Наведені дані залежності значень фізичних та механічних характеристик металів від температури для найбільш використовуваних в інженерній практиці теплостійких сталей для умов реального температурного циклу. В якості такого циклу прийнято температурний діапазон найбільш різкої зміни температури на поверхні ролика МНЛЗ при його контакті зі слябом.

Як впливає з наведених даних (рис. 1а) підвищення температури від  $100^{\circ}\text{C}$  до  $700^{\circ}\text{C}$  викликає монотонне підвищення КЛР для всіх розглянутих класів сталей, але з різною інтенсивністю: для вуглецевих, низько- та середньолегованих сталей має місце інтенсивніше зростання у порівнянні з хромистими нержавіючими сталями. При температурах близько  $700^{\circ}\text{C}$  та  $800^{\circ}\text{C}$  для вуглецевих та хромистих нержавіючих сталей має місце різке зниження КЛР з наступним новим зростанням.

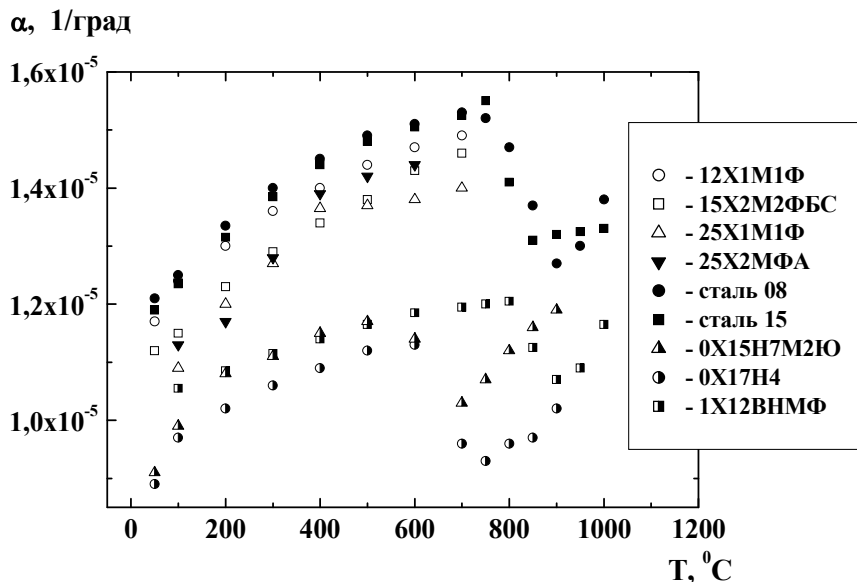


Рисунок 1а. Залежність значень КЛР від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низько- та середньолегованих (12X1M1Ф, 15X2M2ФБС, 25X1M1Ф, 25X2MФА) і хромистих нержавіючих (0X15H7M2Ю, 0X17H4, 1X12BHMФ) сталей [4]

У діапазоні температур від 20<sup>0</sup>С до 700<sup>0</sup>С має місце зниження значень коефіцієнта температуропровідності з вищою інтенсивністю для вуглецевих сталей, ніж для низько- та середньолегованих і хромистих нержавіючих (рис. 1б).

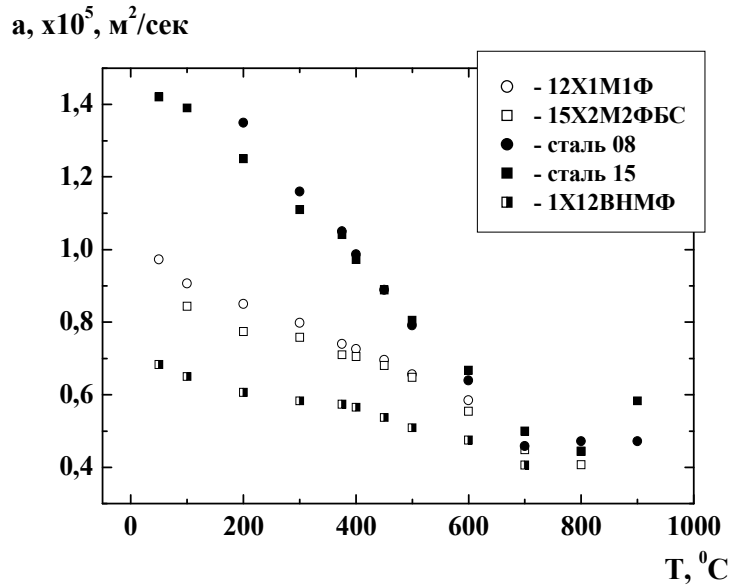


Рисунок 1б. Залежність значень КТП від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низько- та середньолегованих (12Х1М1Ф, 15Х2М2ФБС) і хромистих нержавіючих (1Х12ВНМФ) сталей [4]

Дані зміни значень КТ при підвищенні температури засвідчують про відмінності цих залежностей для розглянутих класів сталей (рис. 1в). Збільшення значень КТ з підвищенням температури має місце тільки для хромистих нержавіючих сталей. Для інших розглянутих сталей значення КТ знижуються при підвищенні температури. Найінтенсивніше зниження відбувається для вуглецевих сталей, а для середньолегованої сталі 15Х2М2ФБС зниження значень КТ починається після незначного підвищення у діапазоні температур 50...300<sup>0</sup>С.

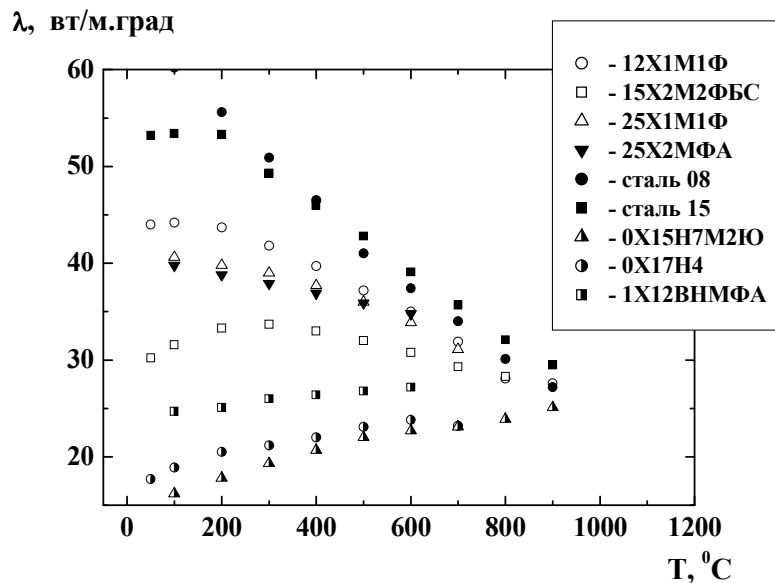


Рисунок 1в. Залежність значень КТ від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низько- та середньолегованих (12Х1М1Ф, 15Х2М2ФБС, 25Х1М1Ф, 25Х2МФА) і хромистих нержавіючих (0Х15Н7М2Ю, 0Х17Н4, 1Х12ВНМФ) сталей [4]

Загальна тенденція збільшення значень КТЕ при підвищенні температури проявляється для всіх аналізованих в даній роботі сталей (рис. 1г). Але така тенденція збігається до певної температурної межі, при досягненні якої загальна закономірність порушується. Для вуглецевих сталей при температурі  $900^{\circ}\text{C}$  характерна стабілізація значень КТЕ з подальшим незначним зниженням. Для низько- та середньолегованих сталей при досягненні температур  $750\text{--}850^{\circ}\text{C}$ , а для хромистої нержавіючої сталі 0X15H7M2Ю при температурі  $600^{\circ}\text{C}$  відбувається різке зниження значень КТЕ.

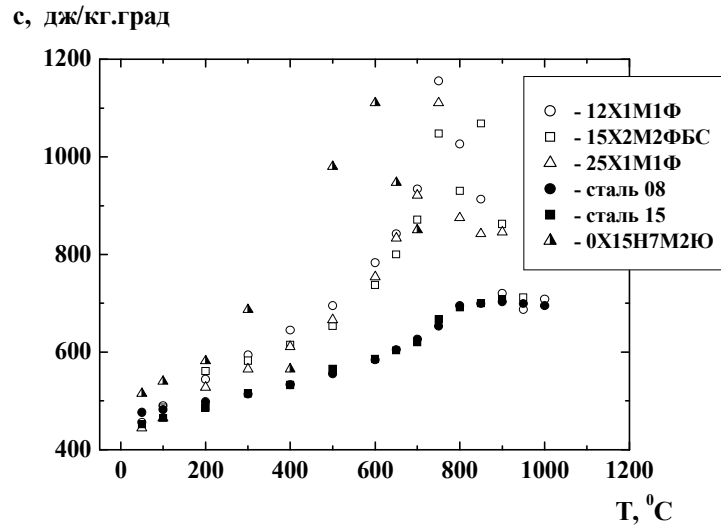


Рисунок 1г. Залежність КТЕ від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низько- та середньолегованих (12X1M1Ф, 15X2M2ФБС, 25X1M1Ф) і хромистих нержавіючих (0X15H7M2Ю) сталей [4]

Для аналізованих у даній роботі сталей при підвищенні температури від кімнатної до  $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$  значення щільності матеріалу зменшуються пропорційно температурі (рис. 1д). При температурах  $600\text{--}800^{\circ}\text{C}$  відбувається стабілізація значень щільності при підвищенні температури приблизно на  $100^{\circ}\text{C}$  і при подальшому зростанні температури продовжується пропорційне зниження її значень.

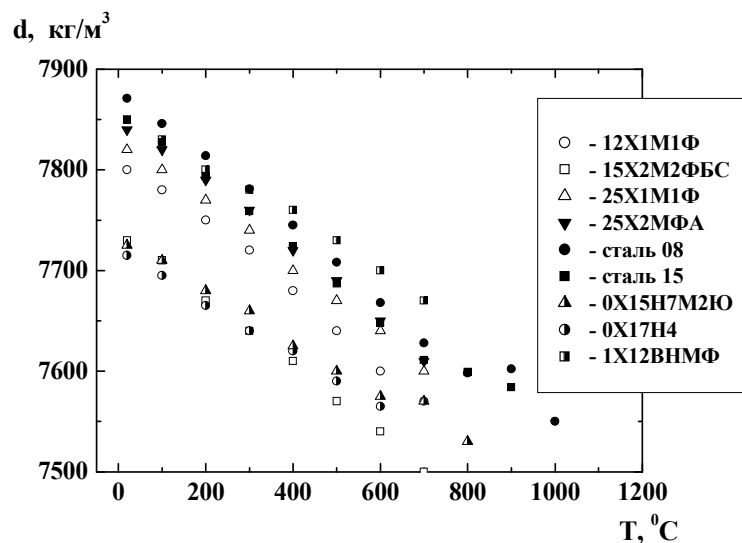


Рисунок 1д. Залежність щільності від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низько- та середньолегованих (12X1M1Ф, 15X2M2ФБС, 25X1M1Ф, 25X2MФА) і хромистих нержавіючих (0X15H7M2Ю, 0X17H4, 1X12ВНМФ) сталей [4]

Значення модуля пружності першого роду  $E$  та модуля зсуву  $G$  при підвищенні температури знижуються (рис. 1е, ж). Із підвищенням температури швидкість зниження модуля пружності збільшується. Однак при температурах 600–800<sup>0</sup>С швидкість зниження значень модуля пружності першого роду зменшується.

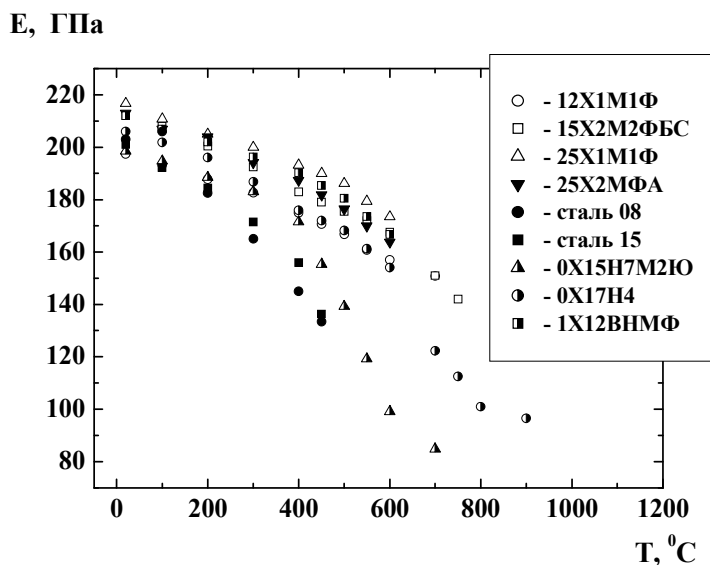


Рисунок 1е. Залежність модуля пружності від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низко- та середньолегованих (12X1M1Ф, 15X2M2ФБС, 25X1M1Ф, 25X2MФА) і хромистих нержавіючих (0X15H7M2Ю, 0X17H4, 1X12ВНМФ) сталей [4]

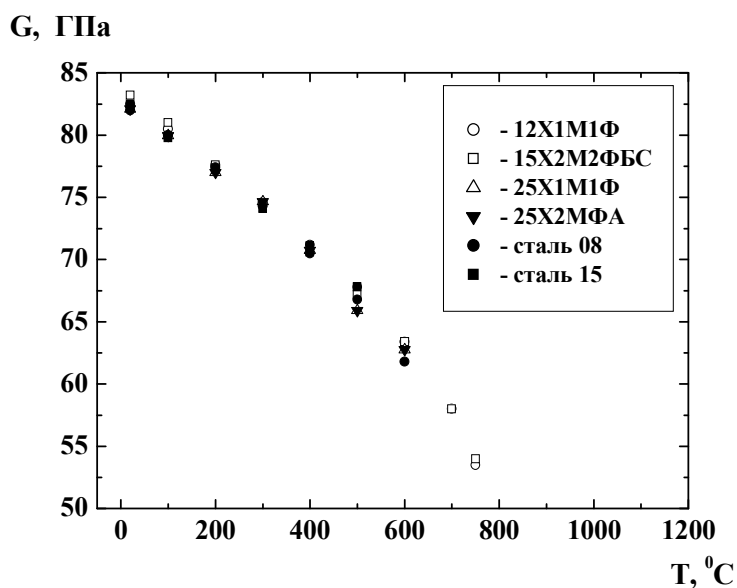


Рисунок 1ж. Залежність модуля зсуву від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низко- та середньолегованих (12X1M1Ф, 15X2M2ФБС, 25X1M1Ф, 25X2MФА) сталей [4]

Зміни значень коефіцієнта Пуассона  $\mu$  при підвищенні температури показано на рис. 1з, із якого випливає, що зростання значень цього коефіцієнта з підвищенням температури відбувається для всіх аналізованих у даній роботі сталей з деякими особливостями на початковій ділянці підвищення температури.

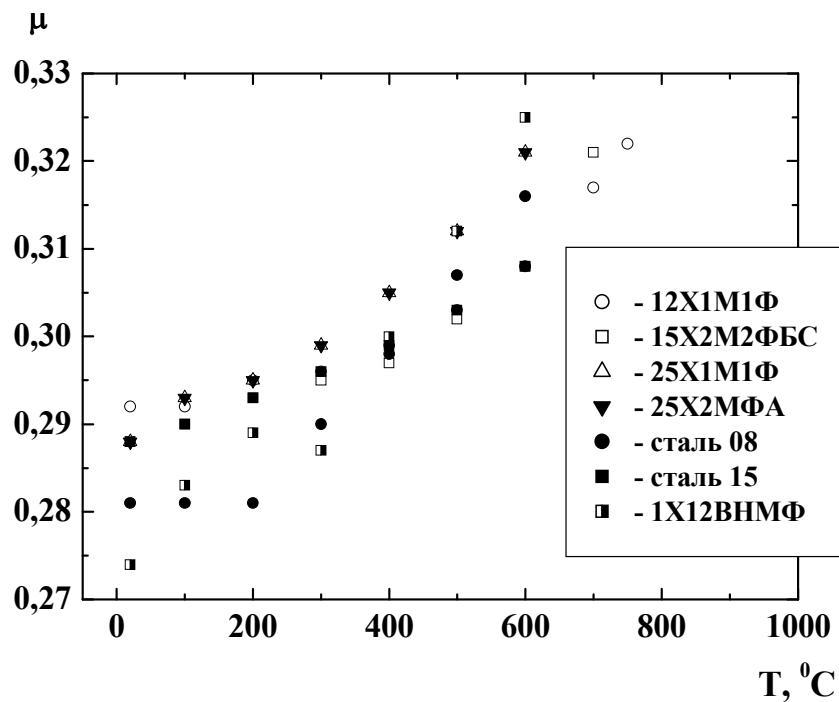


Рисунок 13. Залежність коефіцієнта Пуассона від температури для вуглецевих (сталь 08, сталь 15), низько- та середньолегованих (12X1M1Ф, 15X2M2ФБС, 25X1M1Ф, 25X2MФА) сталей [4]

**Вплив фізико-механічних властивостей металу наплавлення на НДС ролика МБЛЗ.** Оцінку НДС ролика проводили методом скінчених елементів шляхом розв'язку задачі термопружності на основі розв'язку задачі теплопровідності. Для умов реального температурного циклу було проведено розрахункове оцінювання НДС монолітного (без наплавлення) ролика, а для ролика з наплавленням вплив співвідношень значень КЛР та КТ основного металу та металу наплавлення й товщини наплавлення на формування поля термічних напружень на поверхні ролика. В якості такого циклу прийнято температурний діапазон найрізкішої зміни температури на поверхні ролика МБЛЗ при його контакті зі слябом (рис. 2) [5]. Варіювання вибраних теплофізичних коефіцієнтів здійснювали шляхом вибору відповідних їм сталей, яким притаманні відповідні механічні властивості, що враховувались при розрахунках. Далі будуть представлені тільки результати оцінювання НДС ролика як у пружній, так і пружно-пластичній постановці без представлення температурних полів. Уплив фізико-механічних властивостей матеріалу наплавлення та її товщини оцінювали за величиною термічних напружень  $\sigma_z$  у поверхневому шарі наплавлення вздовж його поздовжньої осі, які є причиною зародження та росту тріщин термовтоми при експлуатації.

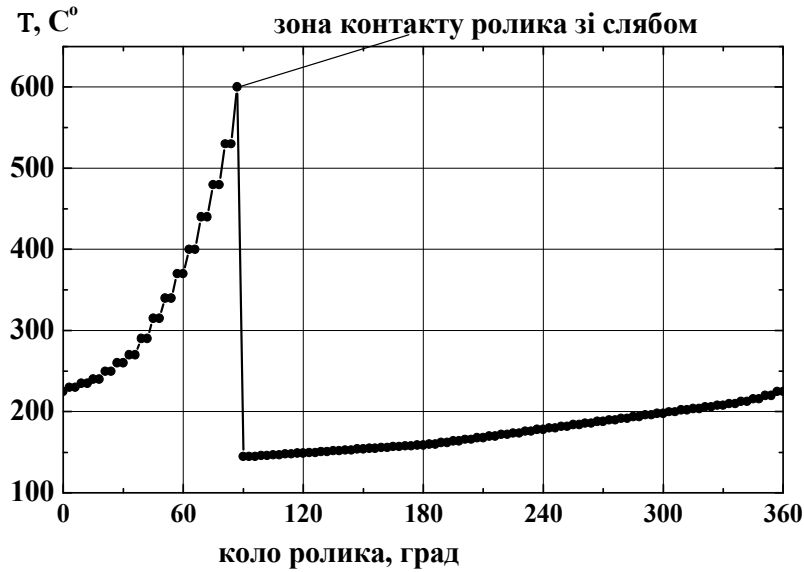


Рисунок 2. Розподіл температури по колу ролика в експлуатаційному термоциклі [5]

На рис. 3 наведено порівняння розрахунків термічних напружень у монолітному (без наплавлення) ролику МБЛЗ зі сталі 25Х1М1Ф у пружній (крива 1) та пружно-пластичній постановці при температурній залежності фізичних характеристик та механічних властивостей (крива 2) та при їх фіксованих ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) значеннях (крива 3). Слід зазначити, що врахування температурної залежності теплофізичних та механічних характеристик впливає на характер епюри термічних напружень (крива 2) відносно епюри, отриманої при фіксованих ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) значеннях вищезгаданих характеристик (крива 3). Оцінка НДС ролика у пружно-пластичній постановці показала, що в зоні перед контактом ролика зі слябом виникають пластичні деформації стиску (крива 4), а в зоні контакту ролика зі слябом виникають незначні пластичні деформації розтягу.

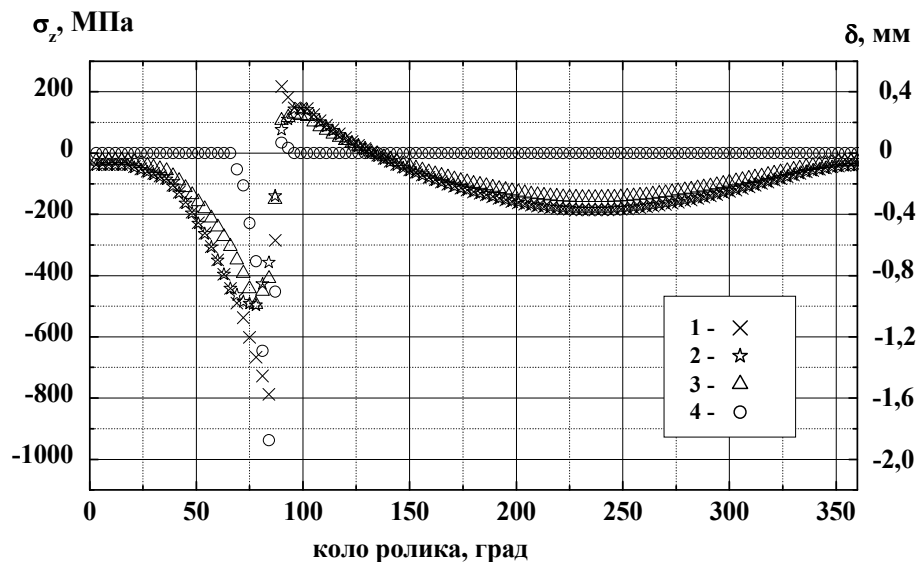


Рисунок 3. Порівняння розрахунків термічних напружень ( $\sigma_z$ ) по контактуючій зі слябом поверхні ролика МБЛЗ зі сталі 25Х1М1Ф у пружній (1) та пружно-пластичній постановці при температурній залежності фізичних характеристик та механічних властивостей (2) та при їх фіксованих ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) значеннях (3). Розподіл пластичних деформацій ( $\delta$ ) по колу ролика (4)

На рис. 4 наведена схема ролика з шаром наплавлення та епюри термічних напружень на поверхні частини кола ролика поблизу зони його контакту зі слябом, які отримані розрахунками у пружній постановці при варіюванні фізичних та механічних характеристик металів наплавлення. Значення КЛР ( $\alpha$ ) и КТ ( $c$ ) для металів основи та наплавлення вказані у підпису. Вважається, що при рівності фізичних і механічних характеристик металів наплавлення та основи, ролик – монолітний (без наплавлення). У даному прикладі розглянуто вплив співвідношень значень КЛР основного металу та металу наплавлення на НДС ролика при однакових значеннях КТ. При підвищенні у 2 рази значень КЛР металу наплавлення відносно основного металу викликає підвищення у 1,65 раза значень термічних напружень стиску у найбільш напруженій зоні перед контактом ролика зі слябом (крива 3) у порівнянні з відповідними напруженнями для монолітного ролика (крива 1). При цьому на поверхні зони контакту ролика зі слябом також виникають термічні напруження стиску на відміну від монолітного ролика, для якого характерні термічні напруження розтягу. Використання для наплавлення металу із значеннями КЛР у 2 рази меншими, аніж для основного металу, призводить до 3-кратного зниження термічних напружень стиску у зоні контакту ролика зі слябом (крива 2) відносно відповідних термічних напружень у монолітному ролику (крива 1). При цьому на поверхні зони контакту ролика зі слябом виникають термічні напруження розтягу, які у 2,2 раза вищі, аніж у монолітному ролику.

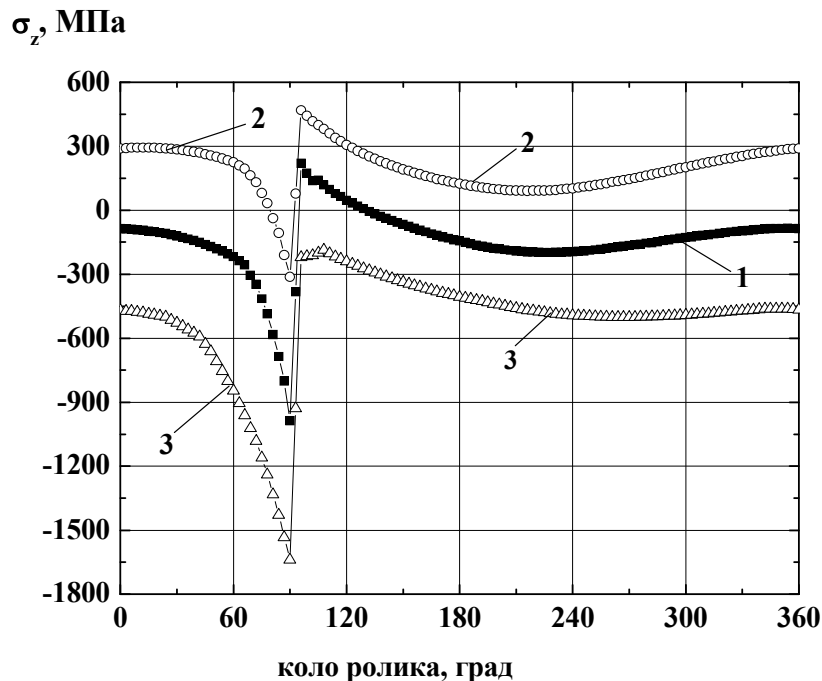


Рисунок 4. Вплив співвідношень КЛР основного металу та металу наплавлення на формування поля термічних напружень ( $\sigma_z$ ) на поверхні ролика МБЛЗ.  $\varnothing$  ролика (мм): зовнішній  $D = 300$ , основи –  $d1 = 270$ ; товщина шару наплавлення (мм)  $t1 = 15$ ; КТ:  $c1$  – основи;  $c2$  – шару наплавлення  $t1$ ; КЛР:  $\alpha1$  – основи,  $\alpha2$  – шару наплавлення  $t1$ ; 1 –  $\alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = c2 = 45$ ; 2 –  $\alpha1 = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 65$ ,  $c2 = 25$ ; 3 –  $\alpha1 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha2 = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 65$ ,  $c2 = 25$



Вплив співвідношень значень КТ основного металу та металу наплавлення (при однакових значеннях КЛР основного металу та металу наплавлення) на НДС ролика при оцінюванні у пружній постановці показано на рис. 5. Підвищення в 1,4–2,6 раза значень КТ для металу наплавлення відносно основного металу практично не впливає на величину термічних напружень як у зоні перед контактом ролика зі слябом, так і у зоні контакту (криві 3, 4) у порівнянні з відповідними термічними напруженнями у монолітному ролику (крива 1). У той же час підвищення у 2,6 раза значень КТ основного металу відносно металу наплавлення призводить до підвищення на 10% термічних напружень стиску на поверхні зони перед контактом ролика зі слябом (крива 2) та 2-кратне зниження термічних напружень розтягу на поверхні зони контакту ролика зі слябом відносно відповідних напружень у монолітному ролику (крива 1).

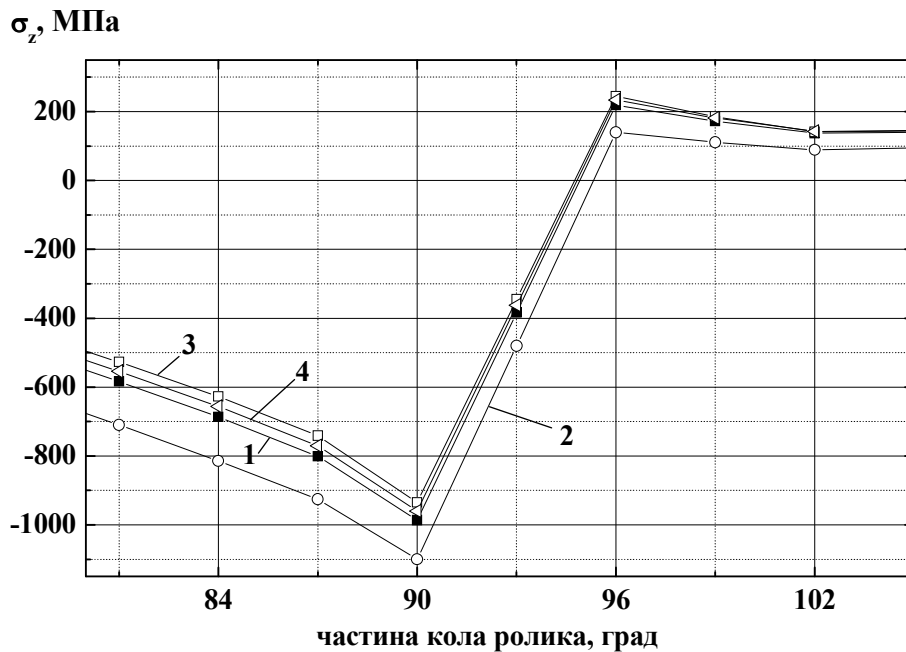


Рисунок 5. Вплив співвідношень КТ основного металу та металу наплавлення на формування поля термічних напружень ( $\sigma_z$ ) на поверхні ролика МБЛЗ.  $\varnothing$  ролика (мм): зовнішній –  $D = 300$ , основи –  $d1 = 270$ ; товщина шару наплавлення (мм): –  $t1 = 15$ ; КТ: основи –  $c1$ , шару наплавлення  $t1 - c2$ ; КЛР: основи –  $\alpha1$ , шару наплавлення  $t1 - \alpha2$ ;  $1 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = c2 = 45$ ;  $2 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 65$ ,  $c2 = 25$ ;  $3 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 25$ ,  $c2 = 65$ ;  $4 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 45$ ,  $c2 = 65$

На рис. 6 показано вплив співвідношень значень КЛР, КТ основного металу та металу наплавлення на формування поля термічних напружень на поверхні ролика, які отримані розрахунками у пружній постановці. Підвищення значень КЛР при збереженні співвідношень значень КТ основного металу відносно металу наплавлення призводить до зниження значень термічних напружень стиску на поверхні ролика в зоні перед його контактом зі слябом та підвищення значень термічних напружень розтягу в зоні контакту ролика зі слябом (криві 2, 3, 5) відносно відповідних напружень у монолітному ролику (крива 1). При однакових значеннях КЛР основного металу та металу наплавлення підвищення в 2,6 раза значень КТ основного металу відносно металу наплавлення призводить до незначного (на 10 %) підвищення значень термічних напружень стиску в зоні перед контактом ролика зі слябом (крива 4) відносно

відповідних напружень у монолітному ролику (крива 1). При цьому в зоні контакту ролика зі слябом термічні напруження розтягу знижуються в 1,8 раза (крива 4) відносно відповідних напружень у монолітному ролику (крива 1).

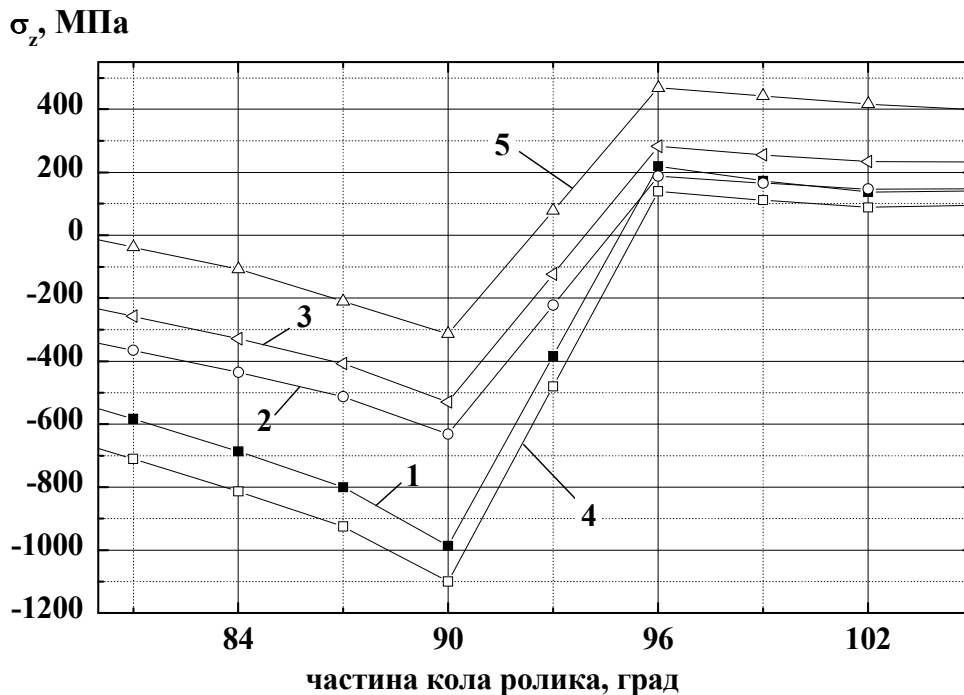


Рисунок 6. Вплив співвідношень теплофізичних коефіцієнтів КЛР, КТ основного металу та металу наплавлення на формування поля термічних напружень ( $\sigma_z$ ) на поверхні ролика МБЛЗ.  $\varnothing$  ролика (мм): зовнішній  $D = 300$ ;  $\varnothing$  основи –  $d1 = 270$ ; товщина шару наплавлення  $t1$  (мм):  $t1 = 15$ ; КТ: основи –  $c1$ , шару наплавлення  $t1$  –  $c2$ ; КЛР: основи –  $\alpha1$ ; шару наплавлення  $t1$  –  $\alpha2$ ;  $1 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = c2 = 45$ ;  $2 - \alpha1 = 1,125 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 65$ ,  $c2 = 25$ ;  $3 - \alpha1 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 65$ ,  $c2 = 25$ ;  $4 - \alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ,  $c1 = 65$ ,  $c2 = 25$ ;  $5 - \alpha1 = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = 65$ ;  $c2 = 25$

Порівняння впливу товщини наплавлення 15 та 30 мм на величину термічних напружень на поверхні ролика МНЛЗ при оцінюванні у пружній постановці при однакових значеннях КЛР і КТ наведено на рис. 7. При розрахунках товщина наплавлення на ролики вибрана в діапазоні їх реального використання. Із наведених даних випливає, що наплавлення товщиною 15 мм (крива 2) в зоні перед контактом ролика зі слябом дає суттєвіше зниження термічних напружень стиску, аніж наплавлення товщиною 30 мм (крива 4) відносно відповідних напружень, які виникають на поверхні монолітного ролика (крива 1). Однак при цьому має місце підвищення термічних напружень розтягу в зоні контакту ролика зі слябом.

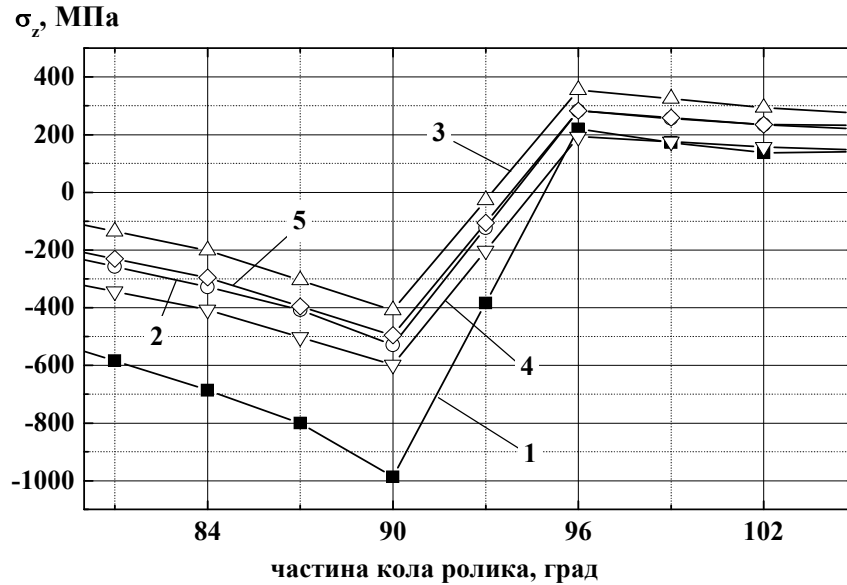


Рисунок 7. Вплив товщини наплавлення з теплофізичними властивостями, які відрізняються від основного металу на термічні напруження ( $\sigma_z$ ) на поверхні ролика МБЛЗ.  $\varnothing$  (мм): ролика зовнішній –  $D = 300$ ; основи ролика –  $d1 = 270, d2 = 240$ ; товщина (мм): верхнього шару –  $t1 = 15, t2 = 30$ ; КТ: основи –  $c1$ , верхнього шару –  $c2$ ; КЛР: основи –  $\alpha1$ , верхнього шару –  $\alpha2$ . 1 –  $\alpha1 = \alpha2 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = c2 = 45$ ; 2 –  $t1 \alpha1 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = 65$ ;  $c2 = 25$ ; 3 –  $t1 \alpha1 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = 45$ ;  $c2 = 45$ ; 4 –  $t2, \alpha1 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = 65$ ;  $c2 = 25$ ; 5 –  $t2, \alpha1 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ ;  $\alpha2 = 0,9 \cdot 10^{-5}$ ;  $c1 = 45$ ;  $c2 = 45$

Оцінка НДС ролика МБЛЗ показала, що проаналізовані теплофізичні характеристики матеріалів основи та наплавлення та пов'язані з ними механічні властивості суттєво впливають на величину та розподіл термічних напружень по поверхні ролика залежно від їх співвідношення в металах основи і наплавлення. Варіюванням значень цих співвідношень можливо регулювати величину та знак напружень на поверхні ролика МБЛЗ. Причому, чим більша різниця в значеннях теплофізичних коефіцієнтів, тим суттєвіше її вплив на НДС ролика.

Отримані результати оцінювання розподілу термічних напружень  $\sigma_z$  по контактуючій зі слябом поверхні ролика МБЛЗ при варіюванні співвідношень КЛР та КТ металів основи та наплавлення, їх механічних властивостей слід розглядати у комплексі з дією механічних навантажень, пов'язаних з вагою сляба та власною вагою роликів, а також дією зусиль розгину слябу при переході від криволінійної ділянки технологічної осі МБЛЗ до прямолінійної.

На розроблення використання впливу співвідношень КЛР, КТ металів основи та наплавлення, їх механічних властивостей на НДС ролика МБЛЗ отримано патент України [6].

**Висновки.** Чисельним розв'язком задач термопружності та теплопровідності показано суттєвий вплив співвідношень КЛР, КТ металів основи та наплавлення, їх механічних властивостей на величину та розподіл термічних напружень по контактуючій зі слябом поверхні ролика МБЛЗ.

Варіюванням співвідношень КЛР, КТ металів основи та наплавлення, їх механічних властивостей надається можливість регулювати величину та знак термічних напружень на поверхні ролика. Розрахункова оптимізація цих співвідношень з урахуванням експлуатаційних механічних навантажень може дати обґрунтування технічних рішень для підвищення довговічності роликів МБЛЗ.

Для умов термомеханічного навантаження метод варіювання співвідношень КЛР, КТ металів основи та наплавлення, їх механічних властивостей може бути використаний для обґрунтування підвищення довговічності при проектуванні нових машин та обладнання, при ремонті відповідальних елементів конструкцій з метою не тільки відновлення їх службових властивостей, але й для підвищення ресурсу.

**Література**

1. Буланов, Л.В. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет [Текст] / Л.В. Буланов, Л.Г. Корзунин и др. // "Уралмаш – Metallургическое оборудование", 2004. – 349 с.
2. Смірнов, О.М. Безперервне розливання сталі: підручник [Текст] / О.М. Смірнов, С.В. Куберський, С.В. Штепан. – Алчевськ: ДДТУ, 2011. – 518 с.
3. Домбровский, Ф.С. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок. Отчет Института электросварки им. Е.О. Патона [Текст] / Ф.С. Домбровский, Л.К. Лещинский. – Киев, 1995. – 198с.
4. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике (справочник) // П/р Б.Е. Неймарк. – М.-Л.: Энергия, 1967. – 240 с.
5. Отчет о научно-исследовательской работе № 34000122/82831784(709 – 1) н/3 7082-381 «Исследование условий эксплуатации и разработка новых конструкций роликов повышенной стойкости для МНЛЗ» (Заключительный). – М.: ВНИИМЕТМАШ. – 1983. – 79 с.
6. Патент на корисну модель UA 26266 U МПК (2006) B22D 11/12 [Текст] / О.П. Гопкало, В.В. Кліпачевський // "Ролик для машини безперервного лиття заготовок (слябів)". – Опубл. 10.09.2007. Бюл. № 14.

*Отримано 12.10.2011*