

Список літератури

1. *Поверхностная прочность материалов при трении* / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. – К.: Техніка, 1978. – 259 с.
2. *Костецкий Б.И., Колисниченко Н.Ф. Качество поверхности и трение в машинах.* – К.: Техніка, 1979. – 216 с.
3. *Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии.* – М.: Машиностроение, 1986. – 360 с.
4. *Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин.* – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
5. *Крагельский И.В. Трение и износ.* – М.: Машиностроение, 1978. – 480 с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.02.

УДК 629.7.063+621.793/043/

Є.Ю. Євсюков, асист.

ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ДЕТОНАЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Розглянуто закономірності розподілення залишкових напружень та їх вплив на зносостійкість покриттів, подано рекомендації щодо їх зниження.

Поверхнєве руйнування покриттів відбувається під впливом не тільки напружень, що обумовлені процесом пружно-пластичної деформації та активації поверхневого шару при навантаженні тертям, але і технологічних залишкових напружень, що виникають у покриттях при їх напиленні. Рівень залишкових напружень, їх розподілення та знак є в багатьох випадках важливими параметрами, що визначають якість покриттів.

Незважаючи на формальну ясність основних фізичних процесів, що викликають залишкові напруження у напилених покриттях, на цей час використання кількісних залежностей їх розрахунку повною мірою неможливо через велику кількість припущень, наслідком яких є неточність обчислювань. У працях, які присвячені характеристикам детонаційних покриттів, доволі обмежені відомості про технологічні залишкові напруження, які розкривають якісні залежності зносостійкості, відсутні дані про вплив термічної обробки на їхні величини та розподілення.

Використаний метод вивчення технологічних залишкових напружень дозволяє визначити характер їхнього розподілення, величину та глибину залягання, записати зміни стріли вигину плоского зразка у процесі безперервного витравлення напиленого шару [1].

Залишкові напруження, що досліджуються, значно змінюються в межах поверхневих шарів, і для досягнення точності необхідне послідовне видалення тонких шарів. Безпосередньо з експерименту отримано ряд значень стріли вигину $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$, які відповідають різним товщинам шарів, що знімаються, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$, та визначено значення функції $f(\alpha)$, її похідної та інтегралу в розрахункових перетинах. З математичного погляду це являє собою відому задачу теорії наближених обчислювань при використанні параболічної апроксимації. Величина залишкових напружень розраховувалася згідно з методами вимірювання, які викладені у роботі [2], з урахуванням специфіки покриттів, що досліджувалися.

У результаті досліджень були визначені та проаналізовані розподілення залишкових напружень за товщиною композиційних покриттів на основі Cr_3C_2 , WC , Al_2O_3 , а також Ni та Fe (рис. 1).

Характер розподілення напружень за товщиною залежить від матеріалів: в одних переважають напруження стиснення, в інших – розтягнення зі значним зближенням в абсолютних значеннях.

Найсприятливіше розподілення з погляду експлуатаційних властивостей мають карбідні покриття.

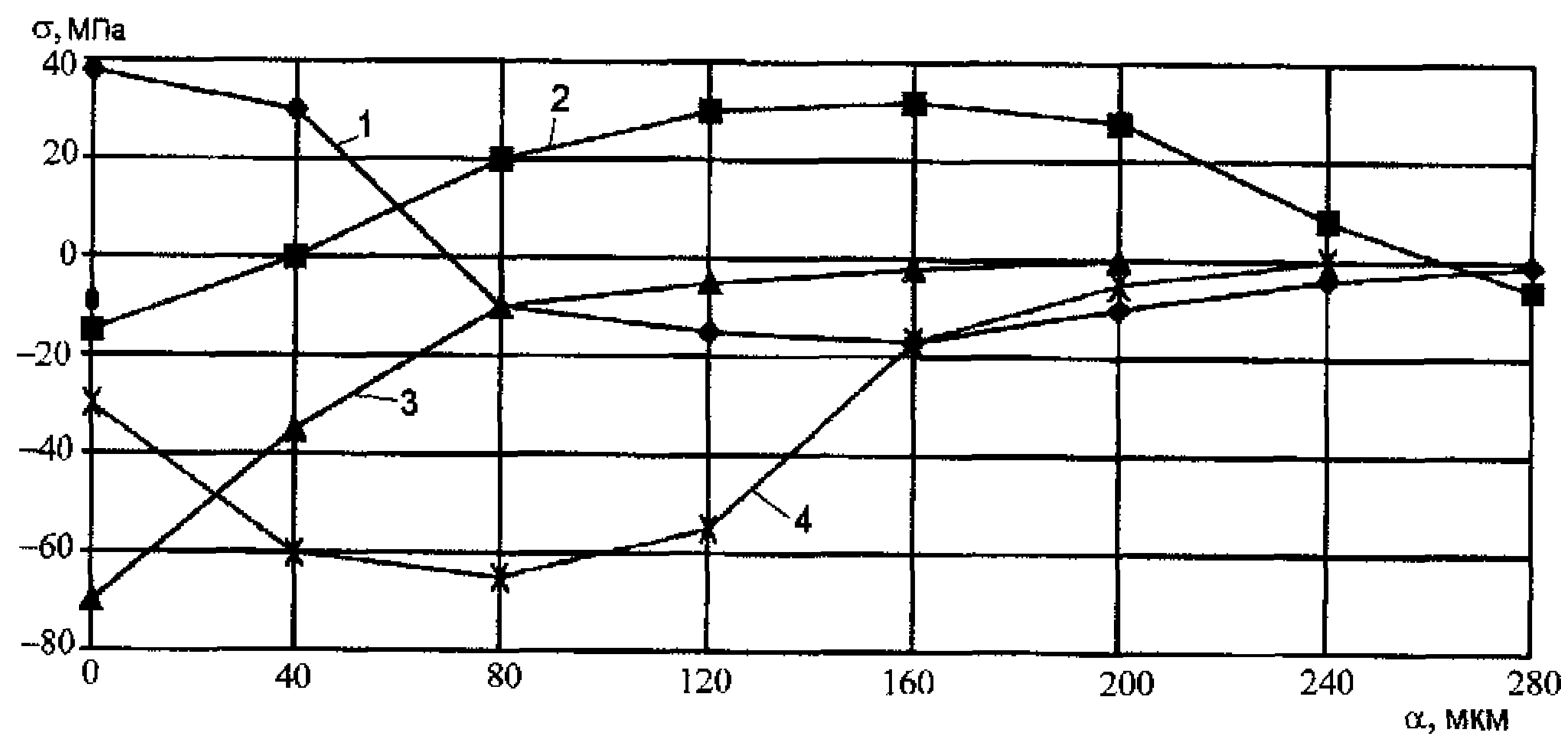


Рис. 1. Розподілення залишкових напружень за товщиною покриттів:

1 – на основі Al_2O_3 ; 2 – композиція $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$; 3 – на основі Cr_2O_3 ; 4 – на основі WC

У покриттях на основі оксиду алюмінію 2 напруження незначні, що, певно, обумовлено відсутністю активних термодифузійних процесів, які призводять до зміни об'ємів напилюваного матеріалу.

У покриттях на основі композиції оксидів алюмінію та хрому 1 виявлені розтяжні напруження у поверхні, які переходять у стискаючі на глибині до 50 мкм. Це відбувається за рахунок формування твердих розчинів, які дозволяють значно релаксувати напруження, що виникають унаслідок термічних градієнтів, що підтверджено структурними та фазовими дослідженнями.

Крім того, необхідно відзначити, що спільний характер розподілення напружень у даних детонаційних покриттях достатньо однотиповий, тобто існують деякі залишкові напруження на поверхні, які спадають за глибиною.

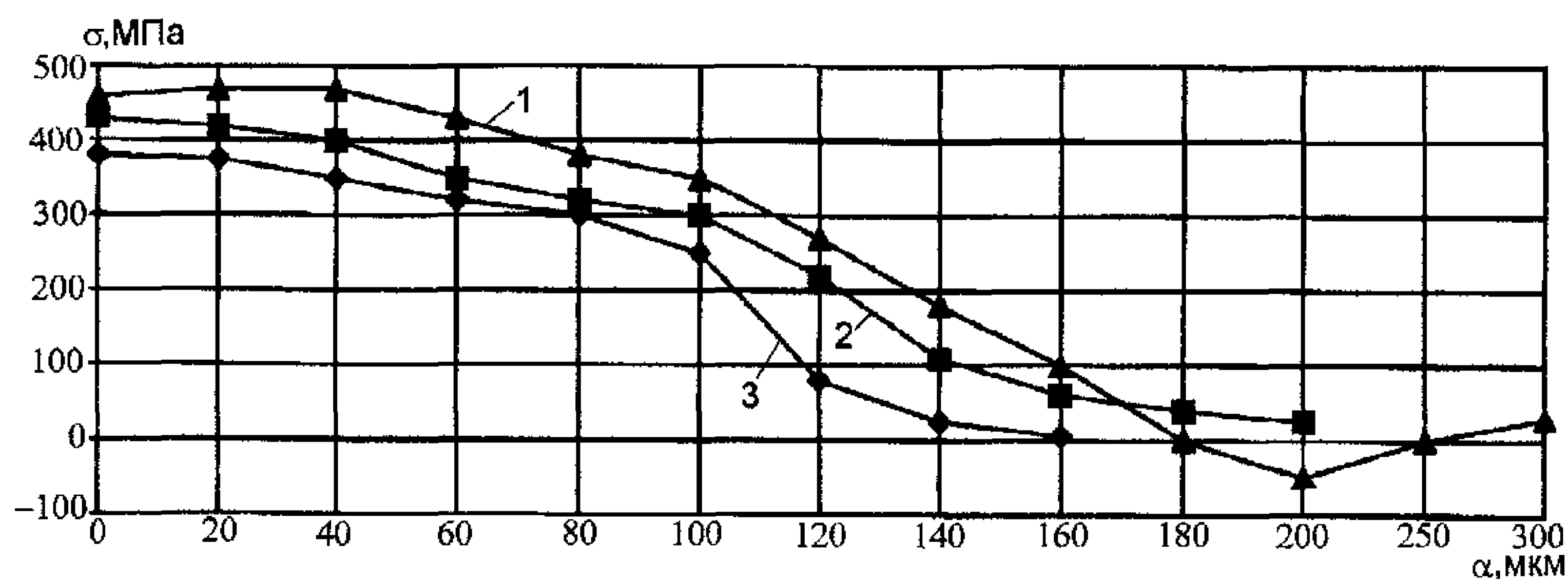
Для детонаційних покриттів на основі заліза та нікелю залежності залишкових напружень мають якісно інші розподілення за глибиною від поверхні, які характеризуються високими розтяжними значеннями, внаслідок утворення нових структурних фаз, що відрізняються питомими об'ємами. Напруження, які виникають у результаті зміни об'ємів фаз та градієнтів концентрації елементів, що деформують, можуть досягати величин, при яких з'являються пластичні деформації або тріщини [3].

На рис. 2, а наведені розподілення залишкових напружень покриттів на основі заліза, максимум яких трохи зміщений від поверхні вглиб покриттів. Зі збільшенням товщини напруження зростає, а зі збільшенням глибини залягання зменшується.

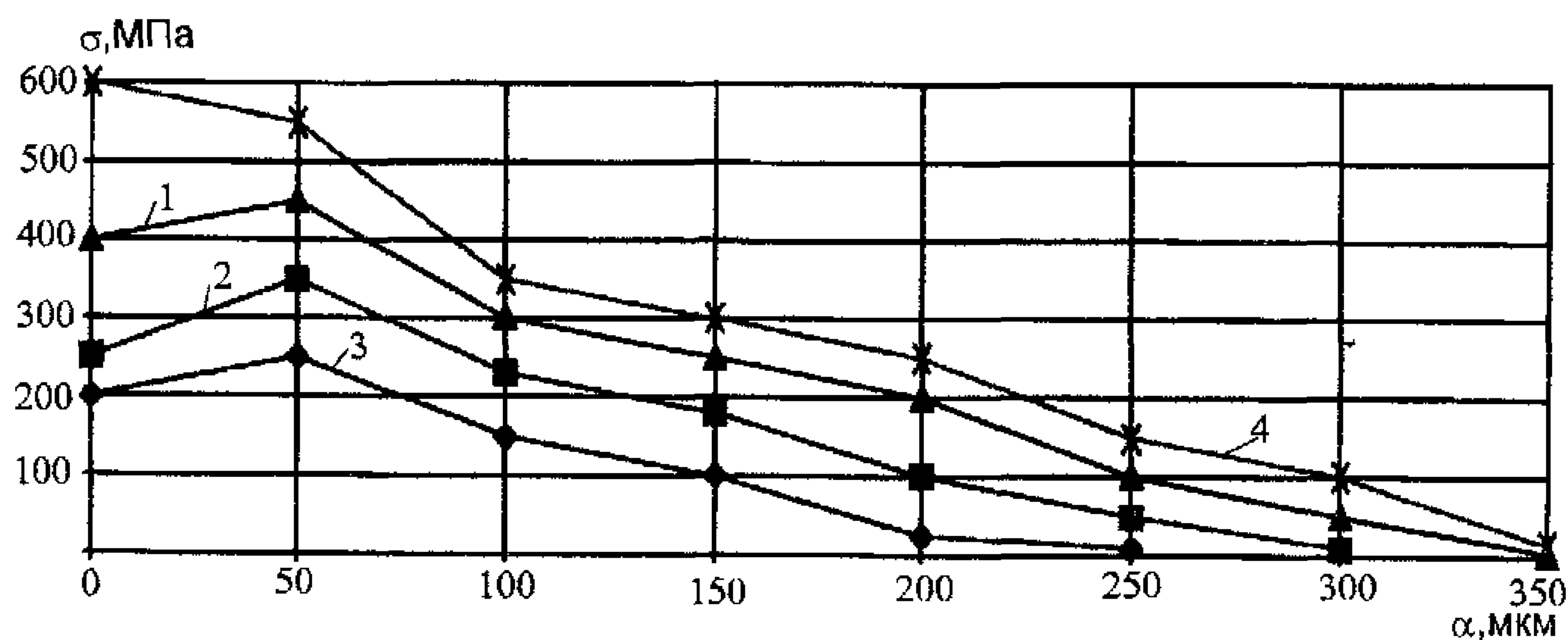
Зразки, що напилені композиційними порошками на основі нікелю, також досліджувалися залежно від товщини покриттів. Випробування цієї партії зразків показало, що за всіма товщинами покриттів спостерігаються розтяжні залишкові напруження (рис. 2, б).

Однією з найдоступніших та ефективних технологічних операцій в умовах виробництва для зняття залишкових напружень є термічна обробка, у результаті якої змінюється величина та характер розподілення залишкових напружень. Зміни в їхньому розподіленні тим помітніше, чим вище температура відпалу. Нагрівання зразків, що досліджувалися, проводилося при температурах 250, 350, 450⁰С струмами високої частоти. При цьому величини напружень помітно зменшувалися, особливо різко зменшуються напруження в покриттях значних товщин. Крім того, зі збільшенням глибини залягання розтяжні залишкові напруження переходять в стискаючі.

Отже, у поверхневих шарах, що піддані зміцненню детонаційним напиленням, виникають залишкові напруження, які за своєю абсолютною величиною безпечні для поверхневого шару з погляду його цілісності та якості. Оптимальна товщина детонаційних напилюваних покриттів, яка відповідає максимальній зносостійкості, складає 180–250 мкм.



а



б

Рис. 2. Розподілення залишкових напружень у покриттях на основі заліза (а) і нікелю (б) залежно від їх товщини:
 а · 1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм,
 б · 1 – 200 мкм; 2 – 300 мкм; 3 – 350 мкм; 4 – 400 мкм

При збільшенні товщини покриттів зростання залишкових напружень можна значно знизити термічною обробкою, у процесі якої розтяжні напруження переходять у стискаючі, що позитивно відбивається на експлуатаційних характеристиках покриттів.

Крім того, залишкові напруження з урахуванням їхньої природи та конкретної схеми навантаження можна регулювати за рахунок управління температурно-кінетичними параметрами наплення при оптимізації технологічного процесу наплення; погодження властивостей структурних складових композиційних покриттів і, перш за все, коефіцієнтів їх термічного розширення; використання матеріалів з високими значеннями модулів зсуву (в цьому випадку, незважаючи на невеликий запас пластичності, зносостійкість покриттів буде високою, оскільки напруження, що виникають у процесі тертя, не перевищують граничнодопустимих); наплення спеціальних підшарів, які забезпечують плавний перехід від властивостей матеріалу підложки до матеріалу покриттів; використання покриттів з оптимальною товщиною.

Список літератури

1. Биртер А.И. Остаточное напряжение. – М.: Машгиз, 1963.
2. Щепетов В.В., Безыкорнов В.А. Исследование технологических остаточных напряжений в защитных покрытиях // Проблемы трения и изнашивания. – 1987. – №32. – С.80 – 85.
3. Щепетов В.В. Особенности структурно-фазовых перетворень в детонационных покрытиях трибосполучень авіаційної техніки // Зб. наук. пр. КІВПС. – К.: КІВПС, 1998. – Вип. 2. – С. 283–287.

Стаття надійшла до редакції 20.03.02.