

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.923

О.А. Гавриш, к.т.н., с.п.с.*Державне підприємство «ДНТЦ артилерійсько-стрілецького озброєння України»***ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕВИМИ ЩІТКАМИ НА ФОРМУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ***Наведені результати дослідження процесу термомеханічного оброблення інструментами з гнучкими робочими елементами.*

Теоретично розроблена методика встановлення процесу формування внутрішніх напружень [1] отримала експериментальне підтвердження. Дослідження проводилось на зразках у вигляді смужок металу розміром 10x6x3 (мм), попередньо зміцнених термомеханічною обробкою (ТМО) з різними технологічними режимами і які підлягали електрополіруванню.

Перед початком експериментів за допомогою мікрометра замірювалась товщина зразка і встановлювалась його маса (з точністю до $1 \cdot 10^{-3}$ г.). Електрохімічне травлення зразків проводилось із застосуванням електроліту (розчин: HNO_3 – 50 %; плавикова кислота – 10 %; вода [2]), нагрітого до температури 10 ± 2 °С, і при сприянні електроструму силою $I = 0,2$ А. Поверхні зразків, що не підлягали травленню, захищались від впливу електроліту гришаровим покриттям лаку ПЦ-62 (ГОСТ 9198-76).

Тривалість кожного експерименту – 120 хв. з періодичністю фіксування результатів через кожні 5 хв.

Товщина сравленого шару встановлювалась на основі наступної залежності:

$$\delta = (m_0 - m_1) / (\gamma F),$$

де m_0 та m_1 – маса зразка, відповідно, до і після кожного травлення;

F – площа сравленої поверхні зразка;

γ – густина матеріалу експериментального зразка.

З віддаленням від поверхні напружених шарів металу зразок деформується, що проявляється його прогином. Величина деформації за допомогою проміжного важеля фіксується приладом профілограф-профілометр 12 типу АІ (ГОСТ 19299-78) і, після обробки імпульсу електронним блоком, реєструється на записуючому пристрої.

Побудова графіків деформацій і встановлення значень залишкових напружень проводилось згідно з відомим розрахунковим виразом [3]:

$$\sigma = -\frac{2E}{b_T^2} f_p \left(\frac{\delta}{2} - \Delta\delta \right) + \frac{E}{3b_T^2} \left[(\delta - \Delta\delta)^2 \frac{df_T}{d\delta} - 4(\delta - \Delta\delta) f_T + \Delta\delta f_T \right],$$

де E – модуль пружності матеріалу зразка;

b_T – половина розміру ділянки травлення;

$\Delta\delta$ – товщина сравленого за час Δt шару металу;

f_p – прогин смужки зразка після його розрізування;

f_T – деформація зразка після усунення шару $\Delta\delta$.

Похідні $df_T / d\delta$ наведеного виразу встановлюються шляхом графічного диференціювання графіка деформацій.

Цикл експериментальних досліджень поділявся на три етапи в залежності від режимів взаємодії інструменту з поверхнею оброблення, покритою різними за видом корозійними напоруваннями: термомеханічне оброблення дисковими сталевими щітками (ДСЩ) з конструктивним чергуванням на інструменті струмопровідних і секцій очищення за умови під'єднання до системи (інструмент-деталь) електроструму; оброблення ДСЩ за умови, що всі робочі секції інструменту є струмопровідними (експериментальний аналог процесу очищення виливок від литтєвого пригару); взаємодія гнучких робочих елементів (ГРЕ) ДСЩ в режимі механічного контактування (без під'єднання до системи струму). Такий різновид технологічної контактної взаємодії дозволяє в кінцевому результаті отримати загальну картину поширення внутрішніх залишкових напружень і їх значення.

Запропонована теоретична методика аналітичного встановлення величини залишкових напружень [1] підтверджена результатами експериментів, проведених згідно з розробленою моделлю впливу техно логічних параметрів процесу, наведеною у вигляді адекватних степеневих виразів, розроблених для кожного з етапів контактної взаємодії. При цьому схема визначення залишкових внутрішніх напружень в поверхневих шарах металу була прийнята такою, як це зображено на рис. 1.

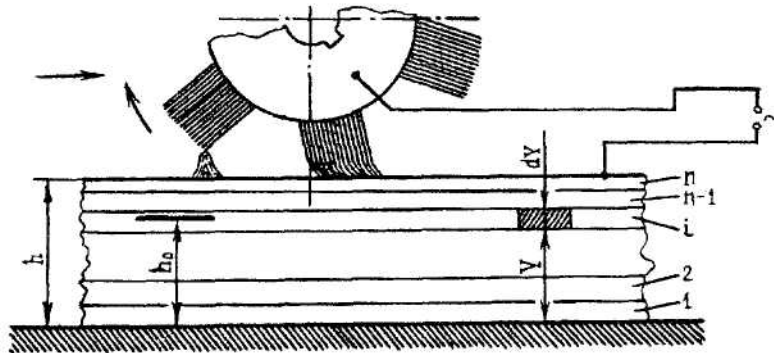


Рис. 1. Схема визначення залишкових внутрішніх напружень в поверхневих шарах металу

В основну задачу дослідів входило встановлення технологічних режимів та конструкцій ДСЦ, при яких отримуються найбільш сприятливі в експлуатаційному відношенні внутрішні залишкові напруження.

В режимі поверхневого оброблення, коли до всіх секцій інструменту під'єднаний електричний струм, величина його зростання супроводжується зменшенням товщини шару залягання та збільшенням стискувальних внутрішніх напружень. Так, наприклад, у зразку із сталі 20 з границею текучості матеріалу $\sigma_T = 245$ МПа (рис. 2) при найменшому значенні сили струму ($I = 30$ А) максимальна величина напружень ($\sigma_X = 210$ МПа) не досягає межі текучості металу, а це означає, що при нагріванні в ньому відбуваються лише пружні деформації і після повного охолодження зразка залишкові напруження в поверхневих шарах відсутні.

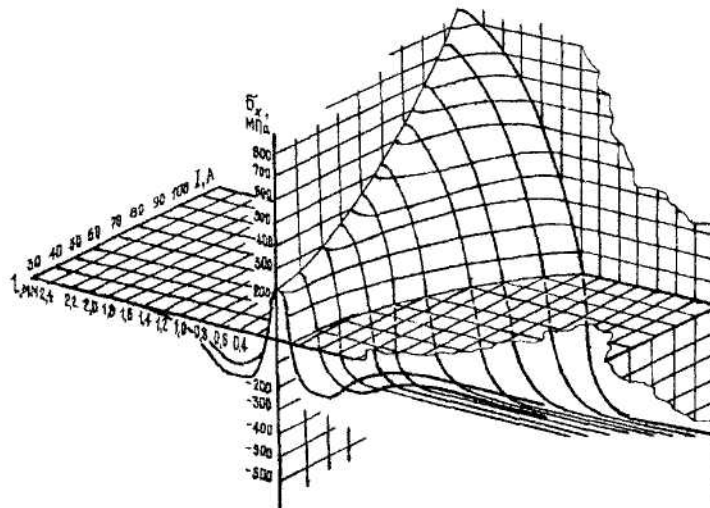


Рис. 2. Розподілення внутрішніх напружень σ_x глибиною l дослідного зразка зі сталі 20 ($\sigma_T = 245$ МПа) в залежності від величини сили струму I в режимі роботи, коли всі секції ДСЦ контактують з електричним струмом

З поступовим підвищенням сили струму до його найбільшого значення ($I = 120$ А), за умови незмінності решти факторів технологічних режимів процесу оброблення ($C = 6$ шт; $V_{ш} = 11,6$ м/с; $B = 5,5 \cdot 10^{-2}$ м; $l = 6,0 \cdot 10^{-2}$ м; $S = 7,83 \cdot 10^{-3}$ м/с; $H_H = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м), внутрішнє напруження розтягу досягає свого максимального значення $-\sigma_X = 960$ МПа, а напруження стиску становитиме $\sigma_X = 610$ МПа, переходячи у залишкове (на глибині $l = 1,2$ мм $\sigma_X = 440$ МПа).

Таке явище пояснюється тим, що збільшення сили струму I приводить до підвищення температури електродугового розряду і, відповідно, до зростання температури нагрівання матеріалу зразка, що робить його більш пластичним і сприяє витягуванню зерен поверхневого шару в напрямі дії сил тертя, які виникають у процесі контактування ГРЕ.

В свою чергу, із збільшенням подачі S (рис. 3) виникаючі внутрішні напруження стискування та їх залишкові величини в матеріалі зразка зі сталі 45 ($\sigma_T = 353$ МПа) зменшуються з 270 МПа до 95 МПа за умови наступного ряду технологічних факторів процесу: $V_{ш} = 16,42$ м/с; $H_{II} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; $I = 60$ А; $B = 4,5 \cdot 10^{-2}$ м; $l = 5 \cdot 10^{-2}$ м; $C = 6$ шт. Такі зміни значень залишкових напружень в матеріалі зразка пояснюються послідовним зменшенням тривалості концентрованого теплового впливу на поверхню, що, в свою чергу, не сприяє утворенню значних за величиною стискуючих внутрішніх напружень.

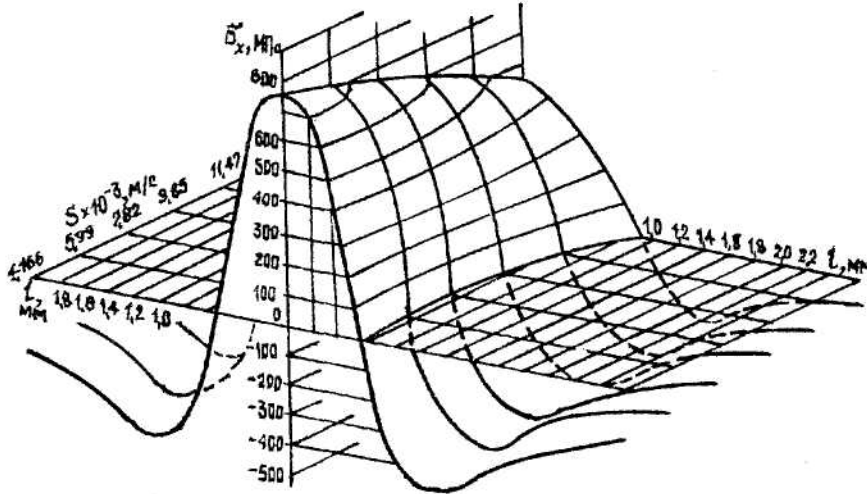


Рис. 3. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 45 ($\sigma_T = 353$ МПа) в залежності від швидкості переміщення (подачі) інструменту S , коли всі секції ДСЦ з'єднані з електрострумом

Збільшення кількості секцій ГРЕ інструменту (рис. 4) позитивно впливає на зростання за глибиною залягання l в матеріалі зразка зі сталі 40Х ($\sigma_T = 786$ МПа) значень як розтягуючих (при $V_{ш} = 9,5$ м/с; $S = 9,65 \cdot 10^{-3}$ м/с; $B = 6,0 \cdot 10^{-2}$ м; $I = 75$ А; $l = 6,5 \cdot 10^{-2}$ м; $H_{II} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м) з 320 МПа до 1110 МПа, стискуючих (з 560 МПа до 940 МПа), так і залишкових стискуючих (з 0 до 230 МПа) внутрішніх напружень, що пояснюється зростанням частоти контактування ГРЕ даних секцій з поверхнею, а, відповідно, і інтенсивністю теплового впливу електродугового розряду

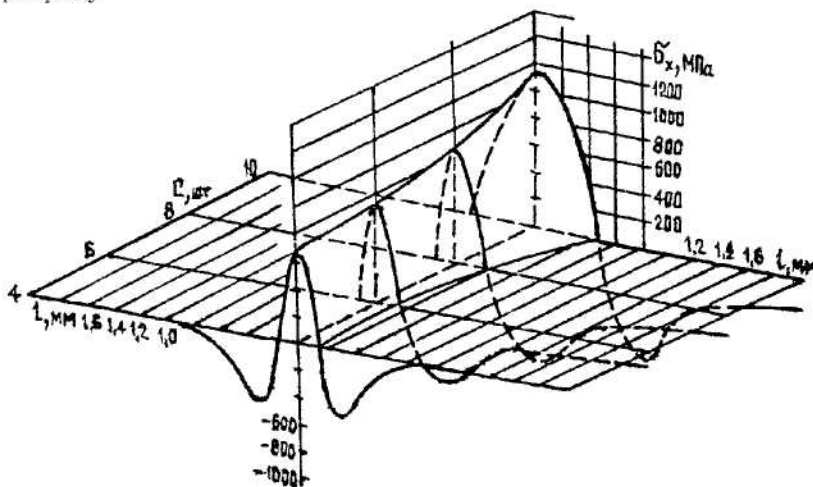


Рис. 4. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 40Х ($\sigma_T = 786$ МПа) в залежності від кількості секцій C інструменту, за умови під'єднання до всіх них електричного струму

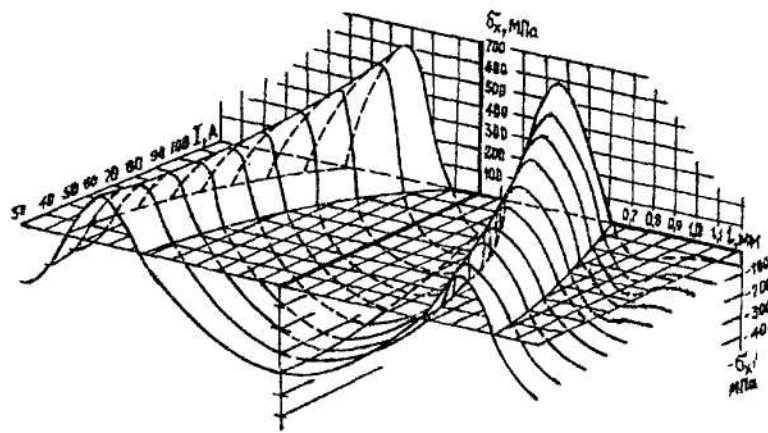


Рис. 5. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 20 ($\sigma_T=245$ МПа) в залежності від сили струму, за умови контактування ГРЕ інструменту в режимі термомеханічного оброблення ТМО

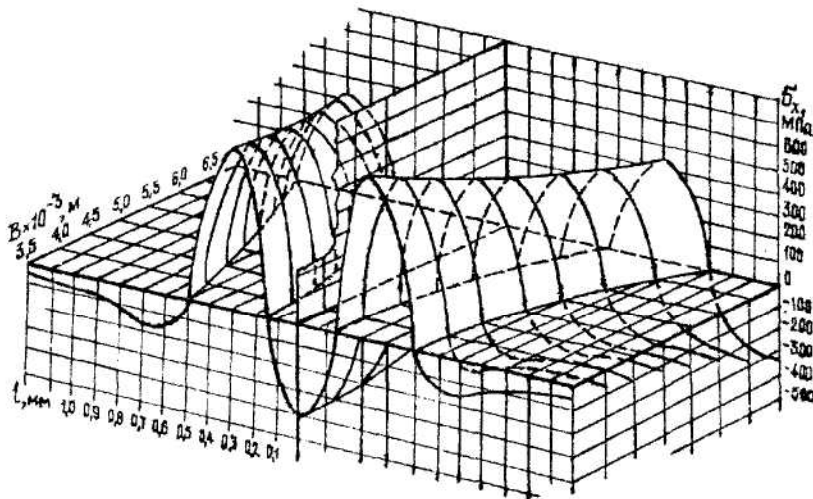


Рис. 6. Розподілення внутрішніх напружень глибиною зразка зі сталі 45 ($\sigma_T=353$ МПа) в залежності від ширини робочої поверхні ДСЦ у процесі ТМО

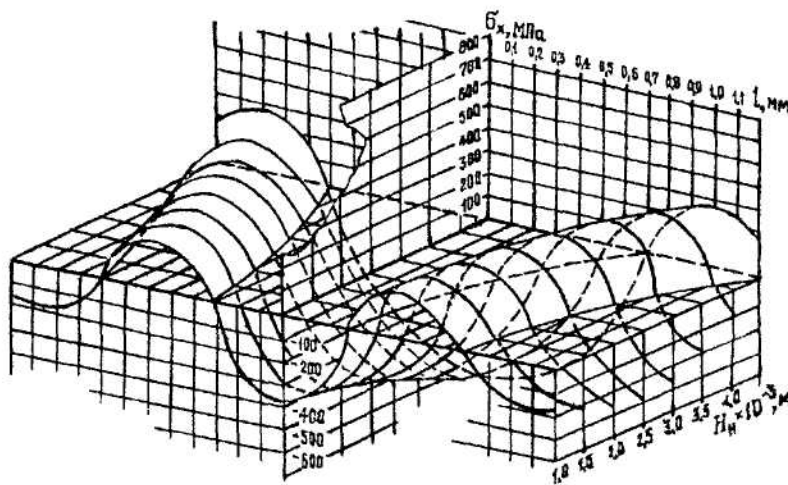


Рис. 7. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 45 ($\sigma_T=353$ МПа) в залежності від величини натягу ГРЕ інструменту у процесі ТМО

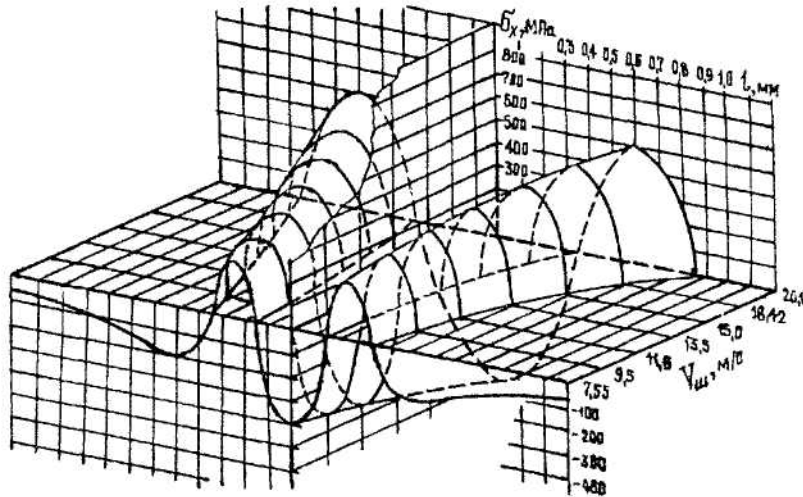


Рис. 8. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 45 в залежності від швидкості обертання ДСШ у процесі ТМО

Аналізуючи в загальному етап процесу поверхневого оброблення, тобто, коли до всіх секцій інструменту під'єднаний електрострум, слід зауважити, що тепловий вплив дугового розряду сприяє в більшості випадків до утворення домінуючих внутрішніх напружень розтягу.

Дослідження етапу поверхневого оброблення лише механічним контактуванням ГРЕ (рис. 9 та рис. 10) констатувало, що за умови будь-яких збільшень показників технологічних режимів процесу та змін конструктивних особливостей інструменту відбувається зростання значень внутрішніх залишкових напружень стискування (для сталі 20 – з 0 до 185 МПа; для сталі 45 – з 110 до 320 МПа; для сталі 40Х – з 145 до 275 МПа), хоча (у порівнянні з попереднім видом взаємодії контактуючих елементів) й на значно меншу глибину – з 0,08 до 0,32 мм. Такому позитивному впливові на утворення стискуючих залишкових напружень не сприяє лише збільшення величини вільного вильоту ГРЕ, із зростанням якої збільщується еластичність кожного елементарного ГРЕ і, відповідно, зменшується зусилля динамічної дії на поверхню обробки.

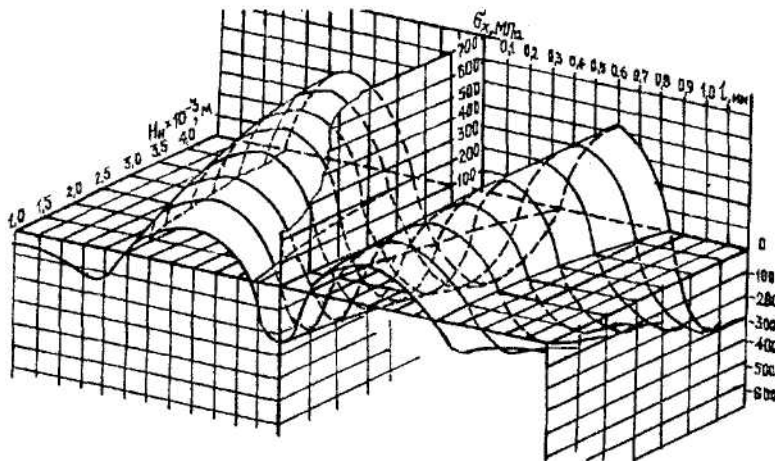


Рис. 9. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 20 ($\sigma_T = 215$ МПа) в залежності від натягу H_H ГРЕ за умови поверхневого оброблення в режимі механічного контактування

Розтягуючі напруження у процесі такого взаємного контактування виникають на незначній глибині (з 0,04 до 0,15 мм в залежності від технологічних параметрів) і повністю компенсуються напруженнями стиску.

Результати експериментальних досліджень, які проведені на етапі комбінованого термомеханічного оброблення ДСШ, графічно відображені на епюрах (рис. 5–8), що дозволяє

візуально встановити фактичну компенсацію внутрішніх напружень розтягу, утворених внаслідок зовнішнього теплового впливу, стискуючими від динамічної дії робочих елементів інструменту, і які частково остаточно фіксуються у вигляді внутрішніх залишкових напружень стиснення, так необхідних для деталей, що експлуатуються із значними динамічними навантаженнями.

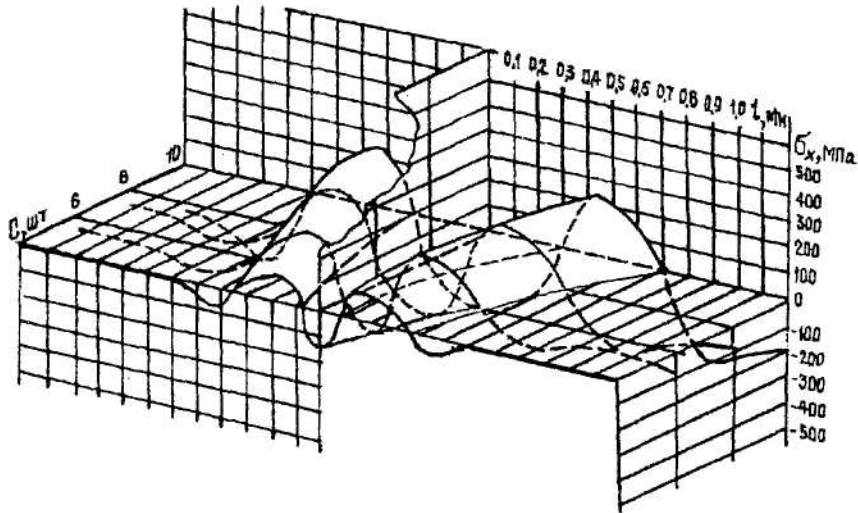


Рис. 10. Розподілення внутрішніх напружень на глибині зразка зі сталі 20 в залежності від кількості секцій С інструменту, за умови лише їх механічного контактування з поверхнею оброблення

Підсумовуючи результати експериментальних досліджень зі встановлення степеня впливів технологічних факторів процесу поверхневої оздоблювально-зміцнюючої обробки (ПОЗО) на виникнення залишкових внутрішніх напружень, наводимо порівнювальну характеристику взаємозв'язку змін тимчасових внутрішніх напружень із режимами оброблення та конструктивними змінами інструменту, зображену у вигляді таблиці (табл. 1), де збільшення або зменшення величини того чи іншого тимчасового напруження залежить від зростання вказаного параметра та рівня його варіювання.

Таблиця 1

Вплив факторів технологічного процесу ТМО на утворення внутрішніх напружень

Фактори процесу ТМО	Способи контактної ГРЕ з поверхнею					
	До всіх секцій ДСП під'єднаний електричний струм		Всі секції ДСП ізольовані від контакту з ел./струм.		Процес ТМО	
	розтяг (+)	стиск (-)	розтяг (+)	стиск (-)	розтяг (+)	стиск (-)
Швидкість обертання інструм. $V_{шт}$, м/с						
Сила струму I, А			-	-		
Подача S, м/с						

Закінчення таблиці 1

Напряг ГРЕ H_{II} , м						
Ширина робочої поверхні ДСЦ B , м						
Довжина вільного вильоту ГРЕ l , м	-	-				
Кількість секцій ДСЦ C , шт						
Товщина шару корозії h_k , м						

Таким чином, результати експериментальних досліджень позитивно узгоджуються з результатами теоретичних розрахунків [1, 4], що дає підставу для впровадження практичних рекомендацій в умовах призначення раціональної послідовності оброблення виробів із застосуванням методів ПОЗО ТМО та керування напружено-деформованим станом поверхневого шару матеріалу виробу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гавриш О.А. Формування залишкових внутрішніх напружень у поверхневих шарах деталей при очисно-зміцнюючій обробці засобами термомеханічного оброблення: Зб. Вісті Академії інженерних наук України, вид. АІНУ, Київ, № 16, 2002. – С. 51-61.
2. Киричок П.О., Гавриш А.П., Мельничук П.П. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с.
3. Козлов В.П. Двухмерные ассимметричные нестационарные задачи теплопроводности. – Минск: Наука и техника, 1986. – 392 с.
4. Гавриш А.П., Киричок П.О., Підберезний М.П. Зміцнення поверхонь деталей машин і механізмів. – Київ: Наукова думка, 1995. – 173 с.

ГАВРИШ Олег Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного і проектно-конструкторського бюро «Науково-технічний центр артилерійсько-стрілецького озброєння України».

Наукові інтереси:

– фінішні методи оздоблювальної обробки матеріалів.

Подано 20.01.2003