

**В.Ю. Лоев, к.т.н., проф.**  
**Я.В. Сідоров, аспір.**

*Житомирський державний технологічний університет*

## **РОЗШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПОЗИТИВНОГО ВПЛИВУ ЕФЕКТУ БАУШИНГЕРА НА ПРОЦЕС МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

*В статті наведені результати попередніх дослідів, пов'язаних з відомим, але мало використовуваним, ефектом Баушингера в процесах лезової обробки і поверхневого пластичного деформування (ППД). Встановлено, що зменшення радіальної складової сили різання суттєво впливає на точність форми поверхонь в разі обробки тільки нежорстких заготовок, а покращення шорсткості і підвищення ступеня наклепу – завжди.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Закон Гука встановлює прямопропорційний зв'язок між напруженням і деформацією в пружній області. При цьому передбачається, що навантаження ведеться нескінченно повільно, так, що зміна стану системи встигає змінюватися за процесом зростання навантаження, тобто зміна стану системи відбувається миттєво при зміні навантаження. При дотриманні цієї умови процеси навантаження і розвантаження в енергетичному сенсі будуть зворотними. Багаторазове повторення циклів навантаження – розвантаження не викликати розсіювання енергії. У реальних тілах перехід в новий стан, що відповідає рівновазі при зміненому зовнішньому навантаженні, відбувається не миттєво, а за деякий проміжок часу. Запізнення порушує прямий зв'язок між напруженням і деформацією, а на діаграмі – з'являється петля гістерезису. Величина розсіяної за один цикл енергії визначається як площа петлі гістерезису й є мірою «внутрішнього тертя» матеріалу. При переході в пластичну область, принаймні, в частині матеріалу спостерігаються такі явища, як ефект Баушингера.

**Аналіз літературних джерел.** Більшість дослідників констатують, що ефект Баушингера найбільш проявляється після невеликої пластичної деформації (наприклад, розтягування) і його величина тим більша, чим менший допуск на залишкову деформацію при визначенні меж пружності або плинності (вимірюваних вже при стисканні). У результаті крива при навантаженні в зворотному напрямку не є відображенням діаграми першого (прямого) навантаження, а розташовується нижче неї, все більше відхиляючись при малих деформаціях. Інша група вчених наполягає на тому, що ефект Баушингера спостерігається і при значних деформаціях.

Відомий більш ніж 100 років, ефект Баушингера полягає у зменшенні опору матеріалу малим пластичним деформуванням після попереднього пластичного деформування протилежного знаку. Виникаючі при первинному деформуванні дислокації обумовлюють появу в металі залишкових напружень, які, об'єднуючись з робочими напруженнями при зміні знаку навантаження, викликають зниження межі пропорційності, пружності та плинності матеріалу [1].

Розглядаючи експериментально-розрахунковий метод вивчення напружено-деформованого стану в пластичній області шляхом виміру твердості деформованого тіла, в роботі [5] акцентовано увагу на тому, що визначення інтенсивності деформації в разі проявлення ефекту Баушингера пов'язано з похибкою, що залежить від деформації Баушингера.

Діаграми  $\sigma$ - $\epsilon$  (рис. 1) при стисканні та при розтягуванні практично однакові. Границя плинності в точці А за абсолютною величиною така ж, як при розтягуванні у тому разі, коли не було попереднього зворотного знаку деформації.

У разі наявності, наприклад, попередньої перед стисканням – розтискаючої деформації, у пластичній області границя плинності значно зменшується (точка  $A^0$ ). Цей ефект і носить ім'я Йогана Баушингера.

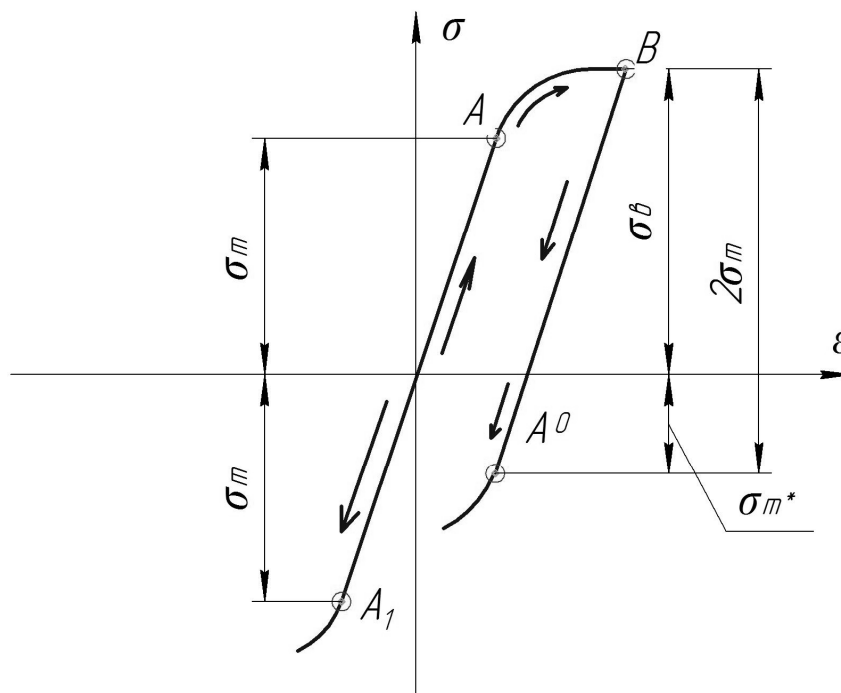


Рис. 1. Ефект Баушингера і принцип Мазінга

Границя плинності в такому випадку визначається принципом Мазінга, згідно з яким крива деформування при повторному знакозмінному навантаженні співпадає з вихідною кривою, побудованою у подвоєному масштабі:

$$\sigma_T^* = \sigma_B - 2\sigma_T \quad (1)$$

**Викладення основного матеріалу.** При врахуванні ефекту Баушингера в обробці металів різанням звертають увагу на такі переваги його застосування:

1. Зниження сил різання при зміні напрямку різання на чистових операціях.
2. Підвищення ступеня наклепу поверхневого шару деталі на операціях пластичного деформування в напрямку, протилежному до напрямку обробки на попередніх операціях.
3. Зниження енерговитрат на фінішних операціях різання та пластичного деформування металу поверхневого шару деталей.

Змінити напрямок різання можливо таким чином:

- при токарній обробці, зміною напрямку обертання деталі та установкою чистового різця з поворотом на 180°, порівняно з чорновим;
- використовувати інструменти, придатні до реверсивного різання (рис. 2). Якщо одне лезо, що проводить обробку – першим, для чорнової обробки, а друге для чистової обробки, то є можливість обробляти начорно в одному напрямку, після чого у зворотному напрямку проводити чистову обробку тим же різцем [2].

Обробка площинних поверхонь з врахуванням ефекту Баушингера можлива за допомогою торцевої фрези з зовнішніми та внутрішніми елементами що обертаються в різних напрямках. Якщо зовнішні елементи будуть виконувати чорнову обробку а внутрішні чистову, а також можливо використовувати внутрішні елементи для вигладжування [3].

Оскільки при чистовій обробці знімається малий припуск (0,1...0,2 мм), то в цьому тонкому шарі металу будуть чітко виражені пластичні деформації від попередньої обробки і гарантовано прояв ефекту Баушингера, тобто зниження зусиль різання і пружних деформацій технологічної системи, а, отже, підвищення точності обробки.

Експериментальна перевірка можливостей використання ефекту в технології машинобудування проводилася на операціях розточування поверхні отворів кулькою і алмазного вигладжування, що виконувалися після операції тонкого розточування отворів [4]. При цьому напрям вектора швидкості обробки при пластичному деформуванні поверхні в половині експериментів збігався з напрямком вектора швидкості різання в процесі тонкого розточування, а в інших експериментах цей напрям був протилежним. При розточуванні або вигладжуванні поверхні в напрямку, протилежному напрямку розточування, пластична деформація матеріалу поверхневого шару також змінює свій напрям, що створює умови для прояву дії ефекту Баушингера (рис. 3).

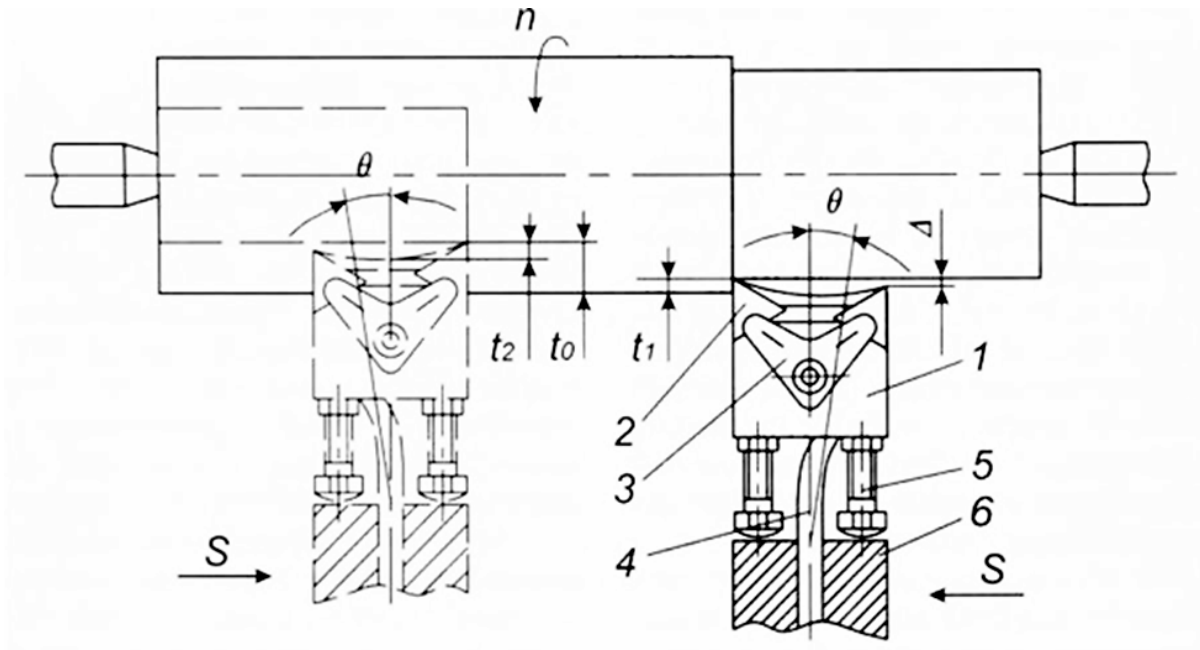
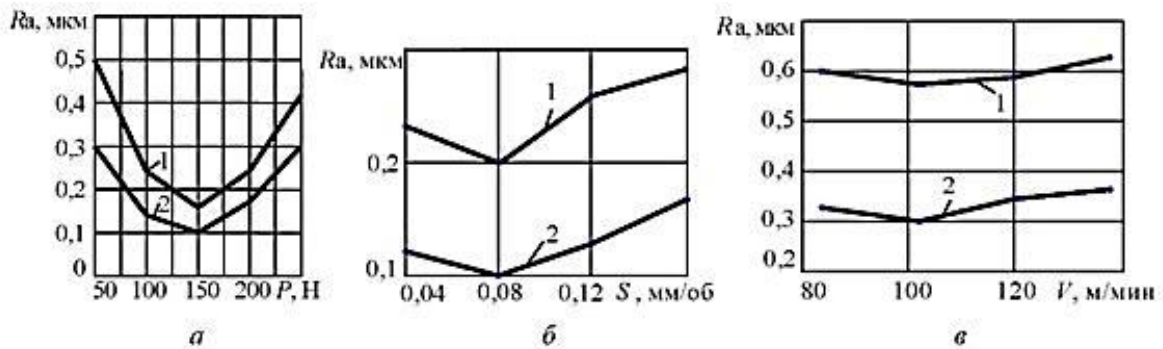
Рис. 2. Різець для точіння з лівою та правою подачами  $S$ 

Рис. 3. Вплив режимів тонкого пластичного деформування на шорсткість поверхні

На графіках (рис. 3) показано вплив таких параметрів на шорсткість поверхні:  $a$  – зусилля;  $b$  – подача;  $v$  – швидкість; 1 – обробка в напрямку різання; 2 – обробка в напрямку, протилежному різанню; матеріал СЧ 20; на графіках  $a$ ,  $b$  –  $V = 100$  м/хв.; на графіках  $a$ ,  $v$  –  $S = 0,08$  мм/об.; на графіках  $b$ ,  $v$  –  $P = 147$  Н; на всіх графіках –  $R_k = 3$  мм.

Аналіз і зіставлення графіків показують, що при пластичному деформуванні поверхневих шарів металу в напрямку, протилежному напрямку різання необхідне зусилля деформування знижується майже в 2 рази, шорсткість поверхні також в 2 рази менша. При цьому знижуються овальність і конусоподібність отворів. До того ж, розкатана або вигладжена поверхня являє собою однорідний рельєф, на якому не видно слідів обробки, немає вм'ятин та інших дефектів, що мають місце при деформуванні поверхні у напрямку різання. Ступінь наклепу металу поверхневого шару при обробці значно вищий.

Ступінь наклепу металу поверхневого шару при обробці цими методами значно вищий, ніж при тонкому розточуванні (табл. 1).

Таблиця 1

Ступінь наклепу поверхневого шару при різних методах обробки

Метод обробки	Тонке розточування	Розкочування в напрямку різання	Розкочування в напрямку, протилежному напрямку різання	Вигладжування в напрямку різання	Вигладжування в напрямку, протилежному напрямку різання
Ступінь наклепу %	18	18,7	20,6	43,0	50,1

При алмазному вигладжуванні як в напрямку різання, так і в напрямку, протилежному різанню, збільшення мікротвердості металу поверхнього шару в 2,5 раза вище, порівняно з операцією розкочування. Ця різниця виникає в результаті деформації зсуву, що має місце при алмазному вигладжуванні. Поверхневі шари при цьому зміцнені більше, ніж від "розкочуючої" дії кулі.

Зміцнення матеріалу поверхнього шару, зменшення шорсткості і створення однорідної поверхні без місцевих пошкоджень, характерних для тонкого пластичного деформування в напрямку, протилежному напрямку різання, сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей виробів і, зокрема, підвищенню їх зносостійкості (рис. 4).

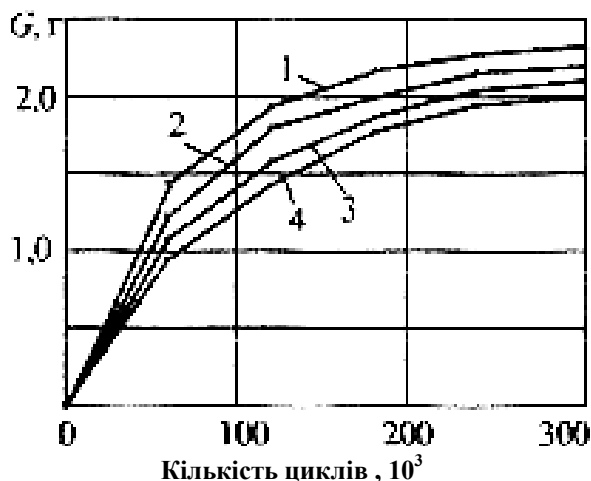


Рис. 4. Криві зношування зразків з чавуна СЧ20 при різних напрямках обертання формуючого елемента: 1, 2 – розкочування та алмазне вигладжування в напрямку різання; 3, 4 – напрямок протилежний різанню

Досліди проводили при наступних режимах: швидкість тертя – 120 м/хв.; нормальна складова зусилля деформування – 100 Н; краплинна змащування маслом Індустріальне-20; визначення зносу зразків з чавуна СЧ20 проводили зважуванням.

**Висновок.** Проведені дослідження підтверджують перспективність використання ефекту Баушингера при вирішенні технологічних задач, пов'язаних з підвищенням точності обробки, деформаційного зміцнення оброблених поверхонь та зменшення їх шорсткості.

Саме, враховуючи можливості дослідного комплексу кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем ЖДТУ, передбачається проведення подальших експериментів з виявленням позитивних властивостей врахування ефекту Баушингера при фінішній обробці деталей типу тіл обертання та площинних лезовим видаленням припуску та поверхневим пластичним деформуванням з порівнянням шорсткості оброблених поверхонь. Крім того, заплановано проведення досліджень з виявлення наявності ефекту Баушингера при обробці холодного прокату.

#### Список використаної літератури:

1. *Линчевский П.А.* Совершенствование технологии обработки металлов резанием и пластическим деформированием с учетом использования эффекта Баушингера / *П.А. Линчевский, С.В. Новожилов, М.Б. Кудряков* / Труды ОНПУ. – Вып. 2. – 2008.
2. *Ермаков Ю.* Реверсивное резание или о пользе исторического опыта / *Ю.Ермаков* // Техника-молодежи. – 2009. – № 6. – С. 18–22.

3. Патент України по № 83072 від 10.06.2006 р. Торцева фреза / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоєв, О.В. Головатенко ; Житомирський державний технологічний університет.
4. *Маталин А.А.* Влияние направления выглаживания и раскатывания на шероховатость и износостойкость обработанных поверхностей / *А.А. Маталин, А.А. Илященко* // Вестник машиностроения. – 1975. – № 3. – С. 74–75.
5. *Огородников В.А.* Положения метода определения напряженно-деформированного состояния в пластической области измерением твердости деформированного материала к решению задач технологической механики / *В.А. Огородников* // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования : сб. науч. тр. Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – К., 2002. – С. 359–366.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- комплексні і комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин;
- конструювання металообробних верстатів та інструментів.

СИДОРОВ Ярослав Вікторович – аспірант кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- конструювання металообробних верстатів.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2013

**Лоев В.Ю., Сидоров Я.В.** Розширення використання позитивного впливу ефекту Баушингера на процес механічної обробки деталей

**Лоев В.Ю., Сидоров Я.В.** Разширение использования положительного влияния эффекта Байшингера на процесс механической обработки деталей

**Лоев В.Ю., Сидоров Я.В.** Розширення використання позитивного впливу ефекту Баушингера на процес механічної обробки деталей

УДК 621.7.01:612.7.09

**Разширение использования положительного влияния эффекта Байшингера на процесс механической обработки деталей / В.Ю. Лоев, Я.В. Сидоров**

В статье приведены результаты предыдущих исследований, связанных с известным, но малоиспользуемым эффектом Баушингера в процессах лезвийной обработки и поверхностного пластичного деформирования (ППД). Установлено, что уменьшение радиальной составляющей силы резания существенно влияет на точность формы поверхности в случае обработки только нежестких заготовок, а улучшение шероховатости и повышение степени наклепки – всегда.

УДК 621.7.01:612.7.09

**Разширение использования положительного влияния эффекта Байшингера на процесс механической обработки деталей / В.Ю. Лоев, Я.В. Сидоров**