

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ХИТРИХ ЄВГЕН ЄВГЕНОВИЧ



УДК 621.96.044:004.942(043.3)

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІМПУЛЬСНОГО РІЗАННЯ
БЕЗПЕРЕРВНОЛИТИХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВІ ЧИСЕЛЬНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі технології виробництва літальних апаратів
Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський
авіаційний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Кривцов Володимир Станіславович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», ректор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мовшович Олександр Якович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри інтегрованих технологій
машинобудування ім. М. Ф. Семка

доктор технічних наук, професор
Драгобецький Володимир Вячеславович,
Кременчуцький національний університет
імені Михайла Остроградського,
завідувач кафедри технології машинобудування

Захист відбудеться «30» січня 2013 р. о 16³⁰ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.10 у Національному технічному університеті
«Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «25» грудня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 64.050.10



В. Г. Сукіасов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безперервне розливання металу – широко використовуваний у чорній металургії метод отримання заготовок для подальшої переробки прокатуванням, куванням, об'ємним штампуванням і т. ін. Цим способом виготовляють 1500 млн т металу на рік, з них 30% складають заготовки сортових перерізів. На ділянці різання технологічної лінії машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) від безперервнолитої заготовки, що рухається зі швидкістю 1,5...3 м/хв, відділяють частини заданої мірної довжини. Найбільш масово використовують вогневі газокисневі різачи або механічне гідросилове обладнання – гідроніжарі, однак і ті, і інші характеризуються істотними недоліками.

Враховуючи зацікавленість металургів у збільшенні виробництва металу на наявному обладнанні, перспективним є збільшення швидкості витягування безперервнолитої заготовки. Тому доцільно для виконання різальних операцій використати високошвидкісне обладнання ударної дії – машини імпульсного різання (МІР), що створені у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

Однак при проникненні клиноподібних ножів МІР у заготовку на завершальній фазі імпульсного (високошвидкісного) різання можуть виникати небажані ефекти від дії розпираючого імпульсу, що проявляються у вигляді хвилювання меніску рідкого металу в кристалізаторі МБЛЗ, що може негативно впливати на технологію процесу розливання. Конструктивними та технологічними заходами вдається у значній мірі уникнути проявлення цього впливу, але, як засвідчує досвід, задача потребує подальшого дослідження.

Використання імпульсних різальних машин дозволяє збільшити продуктивність сортових МБЛЗ щонайменше удвічі (що обумовлює очевидний економічний ефект), тому чисельні дослідження динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – заготовка», що направлені на удосконалення технології імпульсного різання, актуальні та мають велике практичне значення. Вирішення вказаних задач визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у рамках завдань прикладних держбюджетних НДР Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України: «Розробка методів інтенсифікації технологічних процесів у виробничих системах наукоємних галузей машинобудування» (ДР № 0106U001044), «Моделювання та розробка елементів технологічних систем виробництва авіаційної й автомобільної техніки» (ДР № 0109U001115), «Удосконалення імпульсних технологічних систем виробництва деталей аерокосмічної техніки й автомобільного транспорту» (ДР № 0111U001073), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – вдосконалення процесу імпульсного різання гарячого металу, що дозволяє скоротити витрати на виробництво металу, що отриманий за допомогою способу безперервного лиття, за рахунок збільшення продуктивності розливання.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- обґрунтувати принциповий підхід до вирішення задач імпульсного різання гарячого металу, проаналізувати існуючі методи збільшення продуктивності МБЛЗ та на прямі удосконалення технологічного процесу високошвидкісного різання безперервнолитих заготовок;

- проаналізувати особливості динамічної взаємодії елементів системи «МІР –

різальний інструмент – безперервнолита заготовка» для усунення небажаного «назаднього» імпульсу шляхом теоретичного та чисельного дослідження процесу імпульсного різання безперервнолитих заготовок; обґрунтувати розрахункову схему процесу різання, сформулювати крайові умови та розробити комплекс чисельних моделей процесу імпульсного різання безперервнолитих заготовок;

- провести чисельне дослідження різних схем різання безперервнолитих заготовок, запропонувати схеми, що дозволяють усунути небажаний «назадній» імпульс;

- обґрунтувати використання схем різання, що забезпечують відсутність «назаднього» імпульсу при високій якості зрізу; розробити елементи автоматизації вирішення задач імпульсного різання з використанням методу скінченних елементів;

Об'єкт дослідження – технологічний процес імпульсного (високошвидкісного) різання безперервнолитих заготовок.

Предмет дослідження – способи вдосконалення процесу й обладнання для імпульсного різання безперервнолитих заготовок шляхом підбору схем різання, що дозволяють уникнути небажаного «поздовжнього» імпульсу при високій якості зрізу заготовки.

Методи дослідження. Проведені дослідження базуються на фундаментальних положеннях механіки руйнування, теорії пружності, теорії пластичної течії, механічного удару, теорії зв'язаних і динамічних задач термопружності, а також результатах аналізу численних лабораторних та виробничих експериментальних досліджень. Чисельні дослідження проведено з використанням апарату методу скінченних елементів (МСЕ), реалізованого у сучасних системах CAD/CAE («Abaqus», «LS-DYNA»). Для апроксимації отриманих даних чисельних експериментів використано комп'ютерну систему математичного аналізу «Maple» та програму «Microsoft Excel». Для створення тривимірної геометрії МІР й елементів системи «МІР – різальний інструмент – безперервнолита заготовка», що несе у собі набір необхідної для розрахунку геометричної інформації, використано систему «SolidWorks».

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше:

- проаналізовано особливості динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – безперервнолита заготовка» для усунення небажаного поздовжнього імпульсу в бік кристалізатора криволінійної МБЛЗ на основі чисельного моделювання;

- знайдено закони руху різального інструменту клиноподібної форми, що забезпечують відсутність «назаднього» імпульсу при високій якості зрізу заготовки;

- на основі результатів чисельного дослідження обґрунтовано підходи та проведено оптимізацію процесу імпульсного різання комбінованим (клино-зсувним) різальним інструментом.

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічних процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок ножами клиноподібної та комбінованої форми. Сформульовано практичні рекомендації для проектування різального інструменту та вибору кінематичного режиму роботи МІР. Розроблено алгоритм, що дозволяє оптимізувати розрахунки динамічної взаємодії елементів системи «МІР – інструмент – заготовка».

Розроблені здобувачем чисельні моделі процесу різання застосовані на спільному українсько-російському підприємстві ЗАТ «Турбосталь-Інжиніринг» (м. Харків) при розробленні перспективного обладнання для різання гарячого металу. Результати дослідження використовуються у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, одержані здобувачем особисто. Серед них: аналіз особливостей

динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – заготовка» на основі розробленого здобувачем комплексу чисельних моделей, що описують високошвидкісну взаємодію при різанні матеріалу безперервнолитої заготовки ножами МІР (клиноподібними та комбінованими); задачі вирішувались з використанням сучасного апарату методу скінченних елементів. Аналіз принципів технологічних схем і конструкцій різального інструменту, що використовується на виробництві, співставлення результатів моделювання з результатами численних експериментів проводилися спільно зі співробітниками кафедри технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях: «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (м. Харків, 2007, 2009 – 2011 рр.); «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (м. Харків, 2007, 2008, 2010 – 2012 рр.); «Ресурсозбереження й енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії» (м. Харків, 2011 р.). Робота в повному обсязі розглядалась та обговорювалась на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Національного аерокосмічного університету «ХАІ» та кафедрі обробки металів тиском Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (2011 – 2012 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 15 наукових працях, з них 7 статей у наукових фахових виданнях України, 8 тез доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 156 сторінок, з них 17 таблиць по тексту, 9 таблиць на 9 окремих сторінках, 54 рисунки по тексту, 3 рисунки на 3 окремих сторінках, 84 найменування використаних джерел на 9 сторінках, 7 додатків на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Перший розділ присвячено проблемному аналізу науково-технічної інформації в галузі високошвидкісного різання гарячого металу. Показано, що об'єм сталі, витоленої з використанням технології безперервного лиття, щорічно зростає. Найбільш масово у промисловості проектують, будують та експлуатують багаторівчаккові сортові МБЛЗ радіального (криволінійного) типу; по об'єму виробництва середнє- та мілко-сортні заготовки складають біля 30%.

На МБЛЗ в залежності від розмірів перерізу та способів відводу тепла швидкість витягування безперервнолитої заготовки складає від 500 до 2500 мм/хв, для невеликих перерізів – 3000...3500 мм/хв, що обумовлює технології різання таких заготовок.

В теперішній час відомі термічні (вогневі), механічні й електричні методи попереднього різання заготовок. До термічних методів відносять газове та плазмове різання, до механічних – різання ножицями та високошвидкісне (імпульсне) різання. Найбільш широко використовують газокисневе різання (у тому числі у нашій країні), у кількох меншому обсязі поширені імпульсне різання та різання гідравлічними ножицями.

Одним з напрямів удосконалення сучасних МБЛЗ є збільшення продуктивності розливання. Один з методів збільшення продуктивності – нарощування швидкості витягу-

вання безперервнолитої заготовки до величин 6000 та більше міліметрів на хвилину.

Однак продуктивність сучасних МБЛЗ обмежена засобами різання, тому що не всі методи дозволяють розрізати безперервнолиту заготовку при таких великих швидкостях витягування. Високошвидкісне різання гарячого металу дозволяє забезпечити розрізання заготовки при швидкостях витягування більш ніж 4000 мм/хв.

Поряд з відомими перевагами імпульсний метод різання має такі недоліки:

1. Протягом робочого циклу необхідно повністю використати кінетичну енергію рухомих частин МІР. Для гарантованого розрізання заготовки система регулювання задає тепловій повідні режим, що перевищує на 3...5% потрібну роботу деформування. Надмірна енергія використовується при «приковуванні» заготовки на завершальній стадії різання. Наукові дослідження, що пов'язані з вирішенням цієї проблеми, направлені на створення таких систем, які дозволять більш точно задавати енергію циклу різання. При цьому необхідне детальне дослідження процесів сумішоутворення у камері згоряння машини імпульсного різання.

2. При установленні МІР на криволінійних МБЛЗ у деяких випадках в процесі різання проявляється негативний ефект, що обумовлений особливостями динамічної взаємодії елементів системи «МІР – клиноподібний ніж – безперервнолита заготовка»; при цьому в процесі різання виникає небажаний поздовжній (т. з. «назадній») імпульс у бік кристалізатора МБЛЗ, який порушує технологічний процес розливання сталі. Для вирішення цієї задачі потрібно проаналізувати особливості взаємодії елементів системи «МІР – клиноподібний ніж – безперервнолита заготовка» за допомогою комплексу чисельних моделей процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок та запропонувати перспективні схеми різання, що дозволяють усунути «назадній» імпульс.

Вивченню проблем високошвидкісного деформування металів присвячені роботи Р. В. Піхтовнікова, В. Г. Кононенка, Ю. Н. Алексєєва, С. І. Губкіна, А. І. Зиміна, О. А. Іллюшина, Г. Закса, М. Леві, Р. Мізеса та ін. Великий внесок у розвиток теоретичних основ технології та розробку промислового обладнання для імпульсного різання безперервнолитих заготовок зробили вчені та інженери ХАІ. Це роботи В. С. Кривцова, С. В. Щекочихіна, В. К. Мельника, В. О. Стельмаха, А. Ю. Боташева, С. В. Яценка, С. О. Мазніченка, О. Б. Воробйової, С. Г. Кушнарєнка, С. І. Планковського та ін.

На підставі аналізу стану технології різання безперервнолитих заготовок був зроблений висновок, що при збільшенні швидкості витягування заготовок до величин більш ніж 6000 мм/хв є ефективним використовувати метод імпульсного (високошвидкісного) різання. Але при цьому необхідно провести чисельне дослідження процесу динамічної взаємодії елементів системи «МІР – інструмент – заготовка» з метою вдосконалення технологічного процесу імпульсного різання безперервнолитих заготовок.

У другому розділі проведено теоретичне дослідження процесу імпульсного різання безперервнолитих заготовок за допомогою рівнянь механіки суцільних середовищ, а також розглянуто особливості вирішення задач імпульсного різання з використанням сучасного методу вирішення крайових задач – методу скінченних елементів.

Для вирішення задач імпульсного різання заготовок за допомогою рівнянь механіки суцільних середовищ використано:

– рівняння руху

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho \vec{F} + \text{div} T_{\sigma}; \quad (1)$$

– рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0; \quad (2)$$

– умову рівності при великих пластичних деформаціях напрямного тензору напружень з напрямним тензором швидкостей деформації (отримана в роботах Ю. Н. Алексєєва)

$$\bar{D}_\sigma = \bar{D}_\varepsilon; \quad (3)$$

– зв'язок між інтенсивністю напружень та інтенсивністю деформацій

$$\mu_i = \frac{1}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}, \quad (4)$$

де $\bar{D}_\sigma$ – напрямний тензор напружень; $\bar{D}_\varepsilon$ – напрямний тензор швидкостей деформації; μ_i – коефіцієнт жорсткості, аналогічний коефіцієнту в'язкості для рідини, що зв'язує інтенсивність напружень з інтенсивністю швидкостей деформації (введений А. А. Іллюшиним; дозволяє використовувати для аналізу процесів ОМТ загальні рівняння механіки суцільних середовищ); σ_i – інтенсивність напружень; ε_i – інтенсивність швидкостей деформації; T_σ – тензор напружень; $\vec{F}$ – вектор масових сил.

Рівняння (1) – (4) при відповідних крайових умовах дозволяють визначити напружено-деформований стан заготовки, що розрізається, за наявності картини (зако-ну) деформування точок заготовки, який може бути отриманий з кінограм процесу високошвидкісного різання або за допомогою конформних відображень.

Розглянуто сучасні технології вирішення задач за допомогою МСЕ: комбінований розрахунок за схемою Ейлера – Лагранжа, адаптивне перебудування СЕ-сітки. Проаналізовано можливості практичного застосування цих технологій для вирішення задач імпульсного різання безперервнолитих заготовок на сучасному етапі розвитку прикладних МСЕ-програм.

Для задання пластичних властивостей матеріалу заготовки використана класична модель пластичного металу з ізотропним зміцненням та модель пластичності Джонсона – Кука (Johnson-Cook Plasticity Model).

Ізотропне зміцнення задається напруженням пластичної течії σ^0 та може прийматися як таблична функція (в залежності від пластичної деформації та, якщо потрібно, температури чи інших змінних – наперед заданих областей (Predefined Fields)). Напруження в заданому стані інтерполюються з даних таблиці та лишаються незмінними для пластичних деформацій, які перевищують останнє задане в таблиці значення.

При зміцненні по Джонсону – Куку напруження пластичної течії приймаються як функція, що залежить від еквівалентної пластичної деформації, швидкості деформації та температури. Напруження текучості σ^0 має вигляд

$$\sigma^0 = [A + B(\bar{\varepsilon}^{pl})^n] (1 - \hat{\theta}^m), \quad (5)$$

де $\bar{\varepsilon}^{pl}$ – еквівалентна пластична деформація; A , B , n , m – параметри матеріалу, що вимірюють при (чи нижче) температури фазового переходу $\theta_{transition}$ (експериментальне визначення цих параметрів є дуже важливим та дозволяє отримати базу даних (бібліотеку) властивостей різних матеріалів); $\hat{\theta}$ – безрозмірна температура, що задається як

$$\hat{\theta} = \begin{cases} 0 & \text{при } \theta < \theta_{transition} \\ (\theta - \theta_{transition}) / (\theta_{melt} - \theta_{transition}) & \text{при } \theta_{transition} \leq \theta \leq \theta_{melt} \\ 1 & \text{при } \theta > \theta_{melt} \end{cases}$$

де θ – температура навколишнього середовища; θ_{melt} – температура топлення; $\theta_{transition}$ –

температура фазового переходу.

Закон зміцнення по Джонсону – Куку є найкращим для моделювання процесів, що характеризуються високими швидкостями деформації.

Для критерію Джонсона – Кука (Johnson-Cook Criterion), який є окремим випадком критерію пластичності, еквівалентна пластична деформація на початку руйнування $\bar{\varepsilon}_D^{pl}$ може бути найдена зі співвідношення

$$\bar{\varepsilon}_D^{pl} = [d_1 + d_2 \exp(-d_3 \eta)] \left[1 + d_4 \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] (1 + d_5 \hat{\theta}), \quad (6)$$

де $d_1, \dots, d_5$ – константи руйнування (визначаються експериментально).

Критерій руйнування Джонсона – Кука є найкращим для вирішення задач, в яких матеріал зазнає значних деформацій при високих швидкостях навантаження, до яких відноситься імпульсне різання безперервнолитих заготовок.

Сформульовано крайові умови для пласкої задачі різання одним ножом безперервнолитої заготовки, що знаходиться у русі (рис. 1).

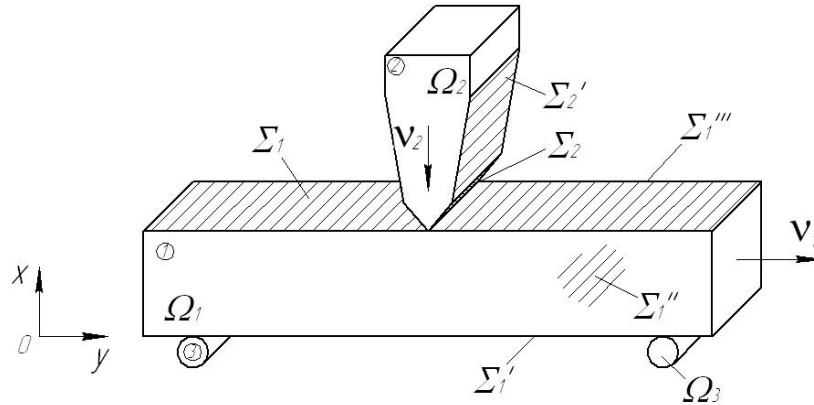


Рисунок 1 – Схема різання безперервнолитої заготовки одним ножом:

1, 2, 3 – тіла, що взаємодіють між собою (заготовка, ніж та ролик відповідно);

$\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ – відповідні об'єми тіл; $\Sigma_1, \Sigma_1', \Sigma_1'', \Sigma_1''', \Sigma_2, \Sigma_2'$ – поверхні тіл, що взаємодіють

Крайові умови для процесу різання двома ножами аналогічні схемі, що розглядається, при цьому ножами задаються різні початкові швидкості.

1. *Рух тіл, що взаємодіють між собою (ніж, заготовка, ролик рольгангу).*

1.1. $v_{20} = \text{const} \leq 25 \dots 30$ м/с – початкова швидкість ножа (вертикальна складова).

1.2. $v_2 = f(t) = v_{2x}$ – швидкість ножа (вертикальна складова).

1.3. $v_1 = \text{const} = v_{1y}$ – швидкість заготовки (горизонтальна складова).

1.4. $\omega_3 = \text{const} = f(v_1)$ – кутова швидкість роликів.

Обмеження на рух (для «класичної» схеми різання безперервнолитих заготовок ножами клиноподібної форми).

1.5. $v_{2y} = 0$ – горизонтальна складова швидкості ножа. При аналізі інших (відмінних від «класичного») варіантів руху ножів МІР швидкість v_{2y} може відрізнятися від нуля.

1.6. $v_{3x} = v_{3y} = 0$ – лінійні швидкості роликів.

2. *Контактні взаємодії (рис. 2).*

2.1. $\vec{v}_{1\Sigma_1}^{\text{КП}} = \vec{v}_{2\Sigma_2}^{\text{КП}} = \vec{v}_{2n}$ – нормальна швидкість на контактній поверхні ножа та за-

ГОТОВКИ.

2.2. $\tau_{\Sigma_1}^{KP} = \tau_{\Sigma_2}^{KP} = f(F_{mp}^{KP})$ – дотичне напруження на контактній поверхні ножа та заготовки.

2.3. $\sigma_{ij}|_{y \notin y_{o.g}} = 0$ – напруження в заготовці поза характерною областю взаємодії ножа та заготовки (рис. 2).

2.4. $\tau_{\Sigma_2'} = 0$ – дотичне напруження на боковій поверхні ножа.

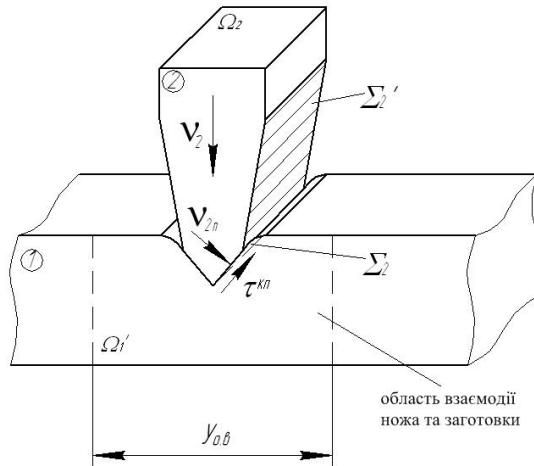


Рисунок 2 – Область контакту ножа та заготовки

3. Розподіл температур в початковий момент часу (через короткочасність деформування вважаємо розподіл незмінним).

$$3.1. T_1 = \begin{cases} T_n, & x = 0, x = -h, \\ T_y - \left(\frac{h}{2} + x\right)^n, & n = 2, -h < x < 0 \end{cases} \quad \text{– закон розподілення температури}$$

по висоті заготовки, що розрізається ($T_n = \text{const}|_{\Sigma_1, \Sigma_1', \Sigma_1'', \Sigma_1'''} = 974 \dots 1123 \text{ K}$, $T_y = \text{const} = 1473 \dots 1523 \text{ K}$).

3.2. $T_2 = \text{const} = 0 \dots 573 \text{ K}$ – температура інструменту (в момент запуску МБЛЗ $T_2 = 0$, у сталому режимі $T_2 = 573 \text{ K}$).

3.3. $T_3 = f(t_1)$ – температура роликів.

Усі розроблені чисельні моделі процесу імпульсного різання було класифіковано у вигляді структурного дерева, що дало можливість виділити спільні властивості моделей та їхні відмінності (рис. 3).

У третьому розділі проведено чисельне дослідження особливостей динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – безперервнолита заготовка» для удосконалення процесу імпульсного різання шляхом усунення небажаного «назаднього» імпульсу.

При розробленні комплексу чисельних моделей процесів імпульсного різання було враховано, що модель матеріалу заготовки повинна враховувати комплекс властивостей реального гарячого металу, що деформується з великими швидкостями та прискореннями деформації. В загальному випадку модель матеріалу заготовки повинна враховувати: а) пружне деформування; б) пластичне деформування; в) особли-

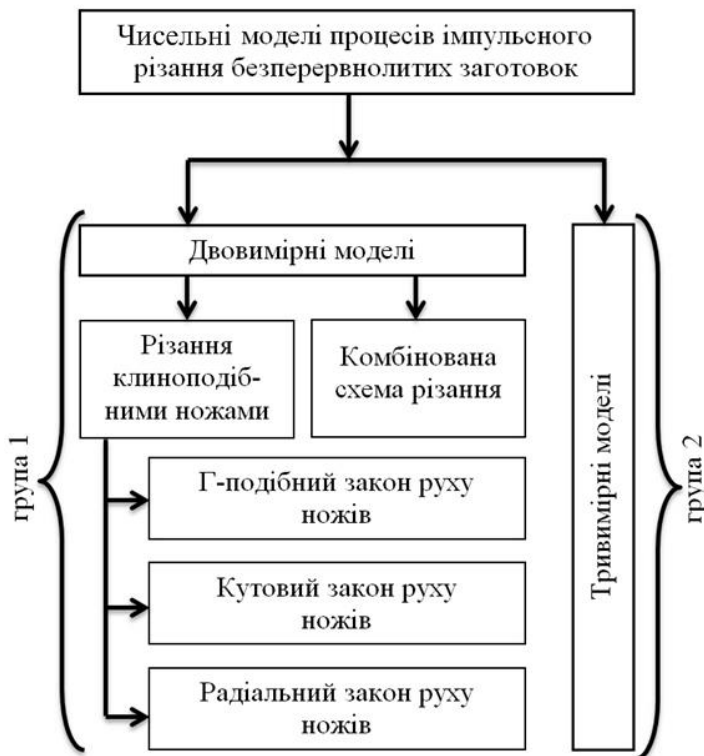


Рисунок 3 – Класифікація чисельних моделей процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок

вості високошвидкісного деформування; г) залежність властивостей матеріалу заготовки від її температури; д) руйнування матеріалу заготовки, що спричинено її НДС, який, в свою чергу, обумовлений взаємодією ножа та заготовки. Модель матеріалу заготовки також повинна відповідати фізиці безперервного лиття. При чисельному аналізі матеріал ножів МІР приймаємо як недеформований.

Обрано розрахункову схему процесу імпульсного різання сортових заготовок «класичним» клиноподібним ножом. Заготовка, що розрізається, розбивається при чисельному аналізі (рис. 4) по висоті на скінченні елементи, кількість яких повинна гарантувати високу точність розрахунку при відносно малому машинному часі, який пот-

рібен для вирішення задачі імпульсного різання.

Кількість скінченних елементів по висоті заготовки також залежить від її перерізу. Оскільки безперервнолита заготовка має суттєву довжину (більше 20 м), і моделювати її цілком недоцільно, то при чисельному аналізі розглянуто її ділянку довжиною 500 мм. Маса частин, які було відкинута, прикладені до відповідних сторін заготовки у вигляді зосереджених мас. Щільність скінченно-елементної сітки була обрана такою: максимальна щільність мала місце у зоні контакту ножів та заготовки (довжина зони порядку трьох ширин ножа), мінімальна щільність у зонах заготовки зовні ділянки $y_{o,в}$ (рис. 2) та середня щільність у проміжній зоні.

Для якісного та кількісного аналізу «назаднього» імпульсу S у моделях процесу різання було введено «контрольний переріз» (рис. 4), розташований на відстані h_2^3 від площини різання у бік кристалізатора МБЛЗ. У вузлах $1 \dots n$, що розміщені в цьому перерізі по висоті, аналізувалися поздовжні переміщення s_k , швидкості v_k , прискорення $\partial v_k / \partial t$, зусилля P_k ; аналіз цих величин дозволив провести оцінку небажаного «назаднього» імпульсу.

Проведено верифікацію отриманих даних, для чого було розглянуто процес різання квадратної сортової заготовки ножом-пластиною. Отримані результати (рис. 5) свідчать про те, що розроблена чисельна модель процесу різання є адекватною та дозволяє отримати результати, що близькі до даних натурних експериментів. Максимальна похибка розрахунків не перевищила 5%.

Показано, що для ножів МІР клиноподібної форми на завершальній стадії процесу різання виникає небажаний «назадній» імпульс, який був оцінений кількісно (рис. 6, 7).

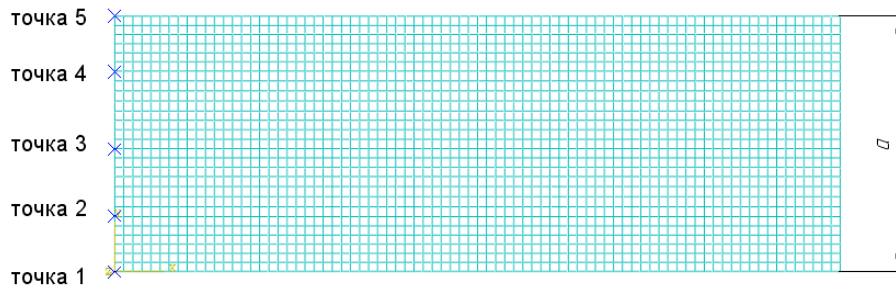


Рисунок 4 – «Контрольний переріз» з точками, у яких аналізується небажаний «назадний» імпульс

Для аналізу обрані три марки сталі: AISI 1025 (вітчизняний аналог – сталь 25), AISI 1045 (сталь 45), AISI 4340 (30X2H2M).

У результаті чисельного дослідження підтверджено, що небажаний «назадний» імпульс у бік кристалізатора криволінійної МБЛЗ виникає на завершальному етапі імпульсного різання, коли дві зони заготовки, у яких напруження від дії ножів добігли границі текучості при даній температурі, зустрічаються одна з іншою (рис. 6).

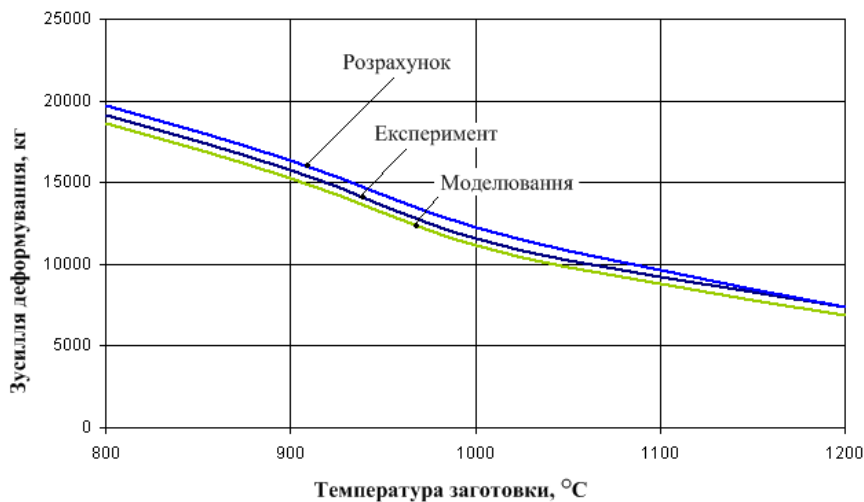


Рисунок 5 – Графіки залежності зусилля різання від температури заготовки

Для усунення небажаного «назаднього» імпульсу запропоновано перспективні схеми різання та закони руху ножів, які були чисельно досліджені за допомогою розроблених моделей процесів імпульсного різання.

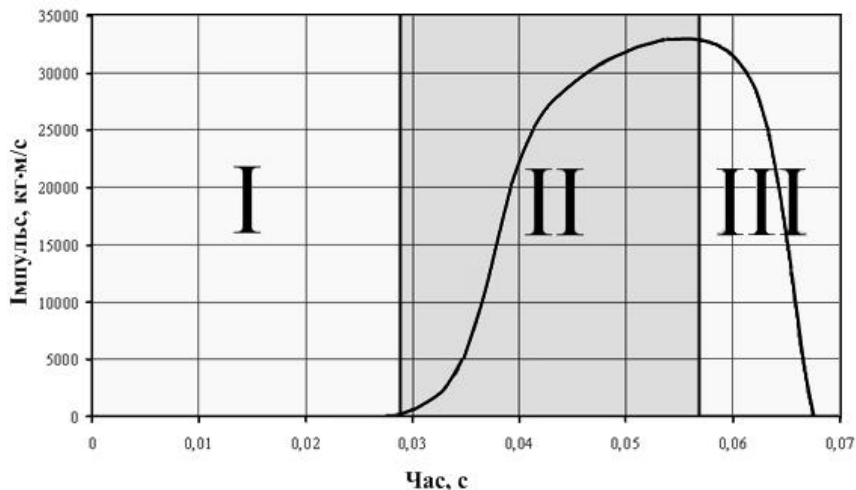


Рисунок 6 – Графік зміни «назаднього» імпульсу за часом

Результати розрахунків (деформований стан) для кутового закону руху ножів з різними кутами нахилу траєкторії руху клиноподібних ножів МІР показані на рис. 8. Для кутового закону руху «класичних» клиноподібних ножів найбільш прийнятним можна вважати кут 70° , при цьому «назадний» імпульс відсутній при одночасно хорошій (що відповідає вимогам до поверхні) якості зрізу.

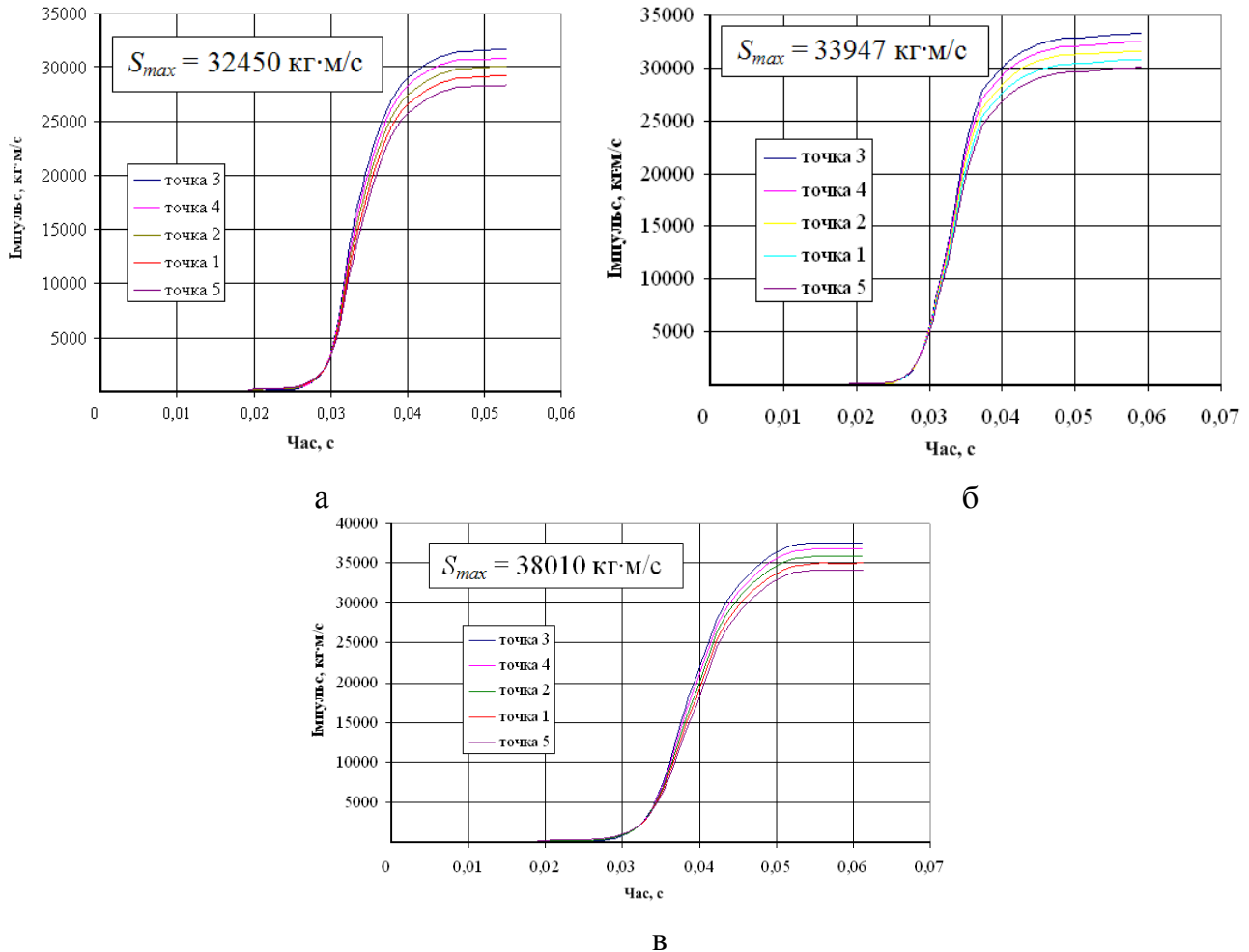


Рисунок 7 – Графіки зміни «назаднього» імпульсу для сталей:

а – AISI 1025; б – AISI 1045; в – AISI 4340

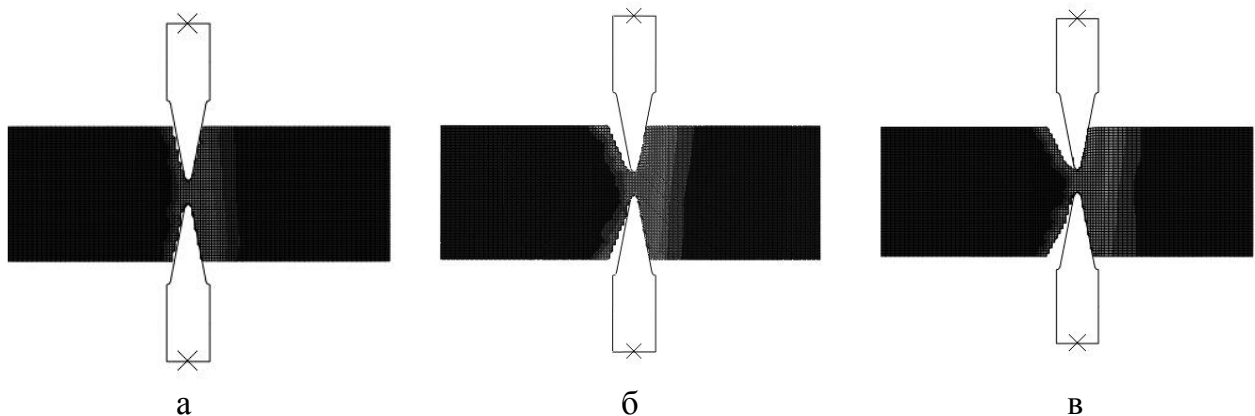


Рисунок 8 – Картина деформування (фінальна стадія) при різанні заготовок клиноподібними ножами, що рухаються по кутовому закону:

а – 80° , б – 70° , в – 60°

Для радіального закону руху ножів «назадній» імпульс має мінімальне значення (2980 кг·м/с) при співвідношенні величини радіуса траєкторії руху клиноподібного ножа до характерного розміру перерізу заготовки, що дорівнює $R/h=7,9$.

Г-подібний закон руху клиноподібних ножів МІР забезпечує відсутність «назаднього» імпульсу, при цьому необхідно забезпечити різке зміщення вісі МІР праворуч (при русі заготовки зліва направо) перед завершальним етапом імпульсного різання (до того, як зони пластичної деформації зустрілися одна з іншою).

Для комбінованої схеми різання (ножами клино-зсувної геометрії) чисельно підтверджено повну відсутність «назаднього» імпульсу при різанні заготовки ножами, що мають геометрію, яка була експериментально знайдена раніше у роботах дослідників ХАІ.

У четвертому розділі проведено аналіз запропонованих схем імпульсного різання для визначення найбільш прийнятної схеми за трьома критеріями: а) якість отриманої заготовки; б) відсутність «назаднього» імпульсу; в) можливість використання схеми на практиці.

Порівняння по величині «назаднього» імпульсу проводилося за результатами, які було отримано з чисельного експерименту (табл., рис. 9).

Таблиця – Результати чисельного дослідження

	Різання клиноподібними ножами							Різання ножами комбінованої форми
	Кутовий закон			Радіальний закон			Г-подібний закон	
Параметр	60°	70°	80°	$R/h = 3,6$	$R/h = 5,7$	$R/h = 7,9$		
Величина «назаднього» імпульсу, кг·м/с	імпульс відсутній (низька якість зрізу)	імпульс відсутній	5538	7340	5480	2980	імпульс відсутній	імпульс відсутній

Аналіз схем різання за якістю отриманих заготовок показав, що для комбінованої (клино-зсувної) схеми різання має місце викривлення вісі заготовки, що є небажаним; для схеми різання з кутом нахилу траєкторії клиноподібного ножа 60° якість зрізу низька.

За можливістю практичної реалізації комбінована схема різання, а також схема різання «класичними» клиноподібними ножами (що рухаються по радіальному або кутовому закону) є найбільш прийнятними.

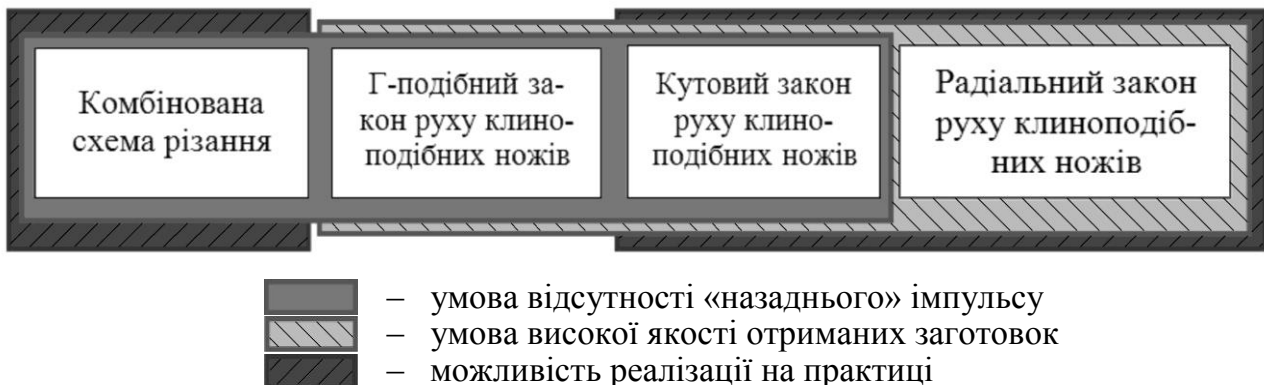


Рисунок 9 – Вибір схеми імпульсного різання, що рекомендована до практичного використання

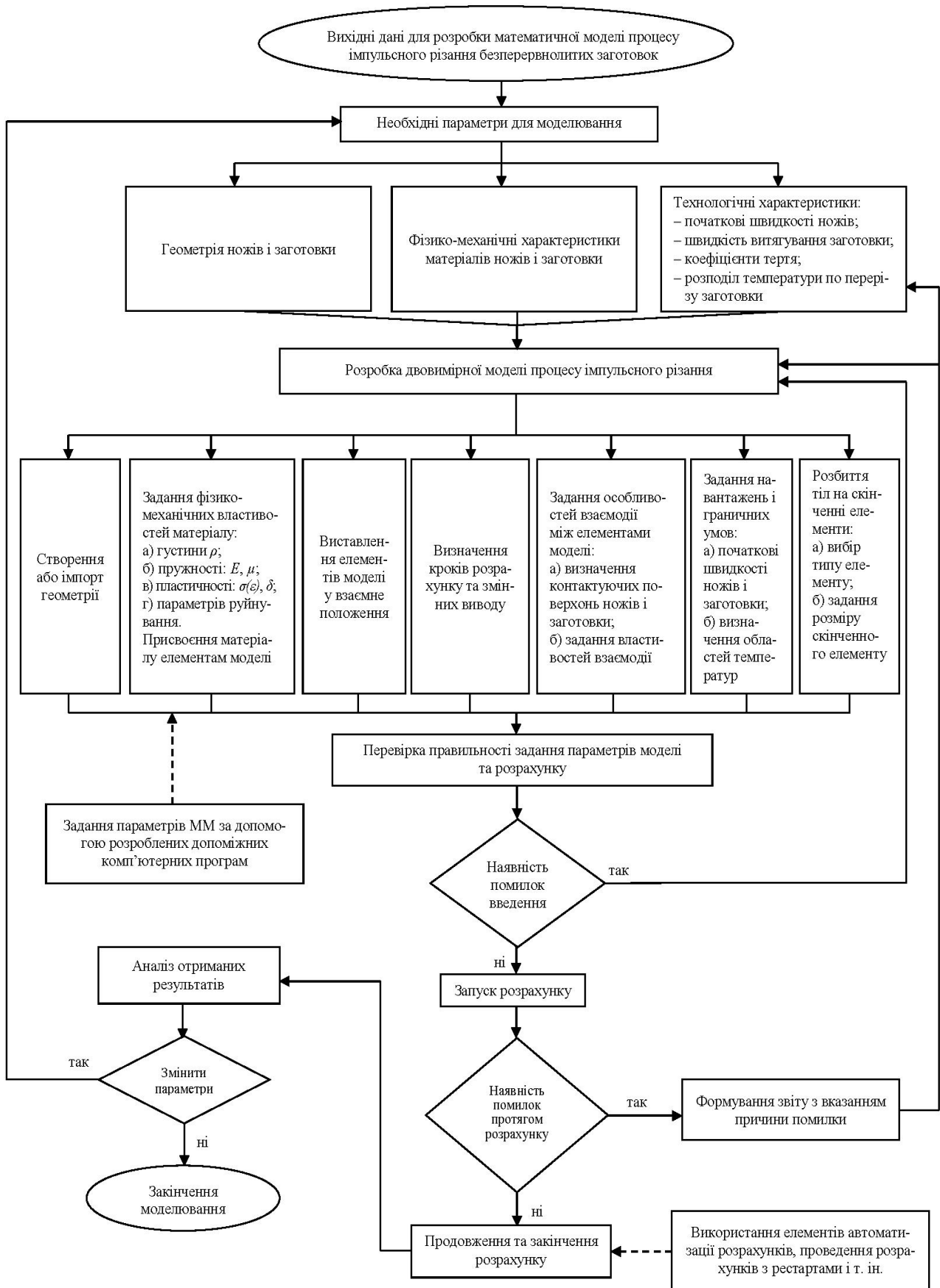


Рисунок 10 – Алгоритм проведення чисельних досліджень у галузі імпульсного різання безперервнолитих заготовок

В результаті була обрана найбільш прийнятна за трьома критеріями схема імпульсного різання – кутовий рух «класичних» клиноподібних ножів з кутом нахилу 70° . Ця схема забезпечує високу якість зрізу заготовки, відсутність «назаднього» імпульсу та може бути рекомендована для практичного використання.

Розроблено алгоритм, що дозволяє проводити подібні чисельні дослідження, розрахунки з рестартами, параметричне моделювання тощо (рис. 10). Створені здобувачем допоміжні комп'ютерні програми у вигляді препроцесорів дозволяють автоматизувати ввід вхідних даних до системи розрахунків методом скінченних елементів.

Виділено два основних напрями, за якими можна очікувати на економічний ефект при використанні імпульсного ріжучого обладнання: а) економічний ефект, що обумовлений впровадженням МІР як ріжучого агрегату в технологічних лініях МБЛЗ; б) економічний ефект при використанні комбінованої схеми проведення наукових досліджень (ряд чисельних експериментів з остаточною експериментальною перевіркою отриманих даних взамін проведення досліджень за «класичною» схемою, для якої характерна сила натурних експериментів).

У **додатках** наведено тексти розроблених допоміжних програм, що дозволяють автоматизувати введення вхідних даних до системи розрахунків методом скінченних елементів, результати чисельного моделювання процесу різання безперервнолитих заготовок з різних марок сталей, а також акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу вдосконалення технологічного процесу імпульсного різання безперервнолитих заготовок. Проаналізовано особливості динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – безперервнолита заготовка» та запропоновано перспективні закони руху клиноподібних ножів машини імпульсного різання, що дозволяють усунути небажаний поздовжній імпульс сили у бік кристалізатора криволінійної МБЛЗ.

Основні наукові та практичні результати виконаних досліджень є наступними:

1. Обґрунтовано принциповий підхід до вирішення задач імпульсного різання гарячого металу за допомогою чисельного дослідження процесів високошвидкісного різання. Показано, що необхідно провести дослідження динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – безперервнолита заготовка» при розробленні перспективних схем різання, що забезпечують відсутність «назаднього» імпульсу.

2. Обрано розрахункову схему, сформульовано крайові умови для задач імпульсного різання безперервнолитих заготовок ножами різної форми та чисельно проаналізовано особливості динамічної взаємодії елементів системи «МІР – різальний інструмент – безперервнолита заготовка» для усунення небажаного поздовжнього імпульсу.

3. Проведено верифікацію даних, що отримані при моделюванні, співставленням розрахункових й експериментальних значень з результатами моделювання для процесу різання металу ножем-пластиною. Максимальна величина відносної похибки розрахунку не перевищила 5%, що підтверджує адекватність розробленої чисельної моделі.

За допомогою розроблених моделей проаналізовано перспективні схеми імпульсного різання. Для «класичної» схеми різання клиноподібним інструментом проаналізовано різні закони руху ножів, що дозволяють знизити (усунути) «назадній» імпульс. Для кутового закону обрано кут нахилу траєкторії руху ножа, що дорівнює 70° (при цьому поздовжній імпульс відсутній), для радіального закону «назадній» імпульс має найменше значення при $R/h = 7,9$. Для Г-подібної та комбінованої схем показано повну відсутність «назаднього» імпульсу при високошвидкісному різанні безперервнолитих заготовок.

4. Обрано найбільш прийнятну за трьома критеріями схему – різання клиноподібними ножами, що рухаються по кутовій траєкторії з кутом нахилу 70° , така схема забезпечує відсутність «назаднього» імпульсу при високій якості зрізу. Ця схема рекомендована до практичного використання.

Запропоновано алгоритм, що дозволяє проводити чисельні дослідження в галузі імпульсного різання безперервнолитих заготовок. Алгоритм може бути використано при розробленні спеціалізованого програмного продукту, який дозволить автоматизувати подібні чисельні дослідження.

5. Розроблений комплекс чисельних моделей впроваджено на спільному українсько-російському підприємстві ЗАТ «Турбосталь-Інжиніринг» при розробленні перспективного обладнання для різання гарячого металу. Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Хитрих Є. Є. Перспективы применения импульсной резки в машинах непрерывного литья заготовок / С. І. Планковський, С. О. Мазніченко, Є. Є. Хитрих // Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2005. – Вип. 43(4). – С. 85 – 91.

Здобувачем проведено аналіз сучасного стану питання в галузі високошвидкісного різання безперервнолитих заготовок, нових і перспективних методів різання заготовок на мірні частини.

2. Khytrykh E. Finite Element Analysis of impulse Cutting Processes / E. Khytrykh // Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2007. – Спец. вип. – С. 28 – 33.

3. Хитрих Є. Є. К вопросу определения экономической эффективности применения машин импульсной резки в технологических линиях машин непрерывного литья заготовок / Є. Є. Хитрих, А. Мамзаї // Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2009. – Вип. 4(60). – С. 104 – 107.

Здобувачем проведено аналіз основних напрямів, за якими можливо очікувати на економічний ефект при використанні різального обладнання імпульсної дії.

4. Хитрих Є. Є. Задание свойств деформируемого металла при численном решении задач импульсной резки непрерывных слитков / Є. Є. Хитрих // Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2010. – Вип. 2 (62). – С. 63 – 67.

5. Хитрих Є. Є. Расчет ножа-пластины с клиновой заточкой машины импульсной резки металла / С. І. Планковський, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – Харків: НАКУ «ХАІ». – 2010. – Вип. 47. – С. 92 – 97.

Здобувачем проведено проектувальний розрахунок ножа-пластини за запропонованою методикою.

6. Хитрих Є. Є. Расчет инструмента для импульсной резки проката по комбинированной схеме / С. І. Планковський, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих // Обработка материалов давлением. – Краматорськ: ДДМА. – 2010. – Вип. 3 (24). – С. 185 – 189.

Здобувачем проведено аналіз і знаходження оптимальної величини куту розхилу ножа комбінованої конструкції.

7. Хитрих Є. Є. Математическое моделирование процессов импульсной резки непрерывных слитков / В. С. Кривцов, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». –

2011. – № 47. – С. 98 –104.

Здобувачем розроблено комплекс чисельних моделей процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок, проведено аналіз впливу різних законів руху ножів МІР на величину небажаного поздовжнього імпульсу в бік кристалізатора МБЛЗ.

8. Khytrykh E. Peculiarities of Finite Element Analysis of impulse Cutting / E. Khytrykh // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ – 2007: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 29 – 31 жовтня 2007 р. – Харків, 2007. – С. 40.

9. Хитрих Є. Є. КЭ-моделирование импульсной резки непрерывных слитков (сдвиговым и клиново-сдвиговым ножами) / В. С. Кривцов, Є. Є. Хитрих // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 23 – 24 квітня 2008 р. – Харків, 2008. – С. 65.

Здобувачем розроблено моделі процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок зсувними та клиново-зсувними ножами.

10. Хитрих Є. Є. Определение оптимальных линейных размеров конечных элементов для задач ОМД / В. С. Кривцов, Є. Є. Хитрих // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ – 2009: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 26 – 28 жовтня 2009 р. Т. 1. – Харків, 2009. – С. 4.

Здобувачем розроблено модель для аналізу впливу величини скінченних елементів на точність розрахунків.

11. Хитрих Є. Є. Экономическая эффективность применения машин импульсной резки в технологических линиях машин непрерывного литья заготовок / Є. Є. Хитрих, С. І. Вишинський // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 21 – 22 квітня 2010 р. – Харків, 2010. – С. 48.

Здобувачем проаналізовано можливі напрями, за якими можна очікувати на економічний ефект при використанні різального обладнання імпульсної дії.

12. Хитрих Є. Є. Моделирование процессов импульсной резки слитков методом конечных элементов / В. С. Кривцов, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ – 2010: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 26 – 28 жовтня 2010 р. Т. 1. – Харків, 2010. – С. 36.

Здобувачем проаналізовано особливості чисельного моделювання процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок за допомогою методу скінченних елементів.

13. Хитрих Є. Є. Математическое моделирование процессов высокоскоростной резки непрерывных слитков: исследование процесса возникновения попятного импульса в сторону кристаллизатора криволинейной МНЛЗ / В. С. Кривцов, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 20 – 21 квітня 2011 р. – Харків, 2011. – С. 51.

Здобувачем розроблено комплекс чисельних моделей процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок.

14. Хитрих Є. Є. Конечно-элементное моделирование высокоскоростной резки слитков в 2D и 3D-постановке / В. С. Кривцов, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих, Ф. О. Ходько // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ – 2011: тези доповіді всеукр. наук.-техн. конф. 22 – 24 листопада 2011 р. Т. 1. – Харків, 2011. – С. 31.

Здобувачем проаналізовано вплив типу задач, що вирішуються (двовимірною чи тривимірною постановкою), на точність результатів та якість відображення реальної картини деформування металу.

15. Хитрих Є. Є. Верификация результатов моделирования при конечно-элементном анализе процессов импульсной резки непрерывных слитков / В. С. Кривцов, О. М. Застела, Є. Є. Хитрих, Ф. О. Ходько // Проблеми створення та забезпечення

життєвого циклу авіаційної техніки: тези доповіді міжнар. наук.-техн. конф. 18 – 19 квітня 2012 р. – Харків, 2012. – С. 61.

Здобувачем розроблено модель процесу різання, за допомогою якої проведено верифікацію розрахунків для задачі високошвидкісного різання металу ножем-пластиною.

АНОТАЦІЇ

Хитрих Є. Є. Удосконалення процесів імпульсного різання безперервнолитих заготовок на основі чисельного моделювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Харків, 2012.

Дисертацію присвячено вирішенню важливого питання скорочення витрат на виробництво металу, що отриманий за допомогою способу безперервного лиття, за рахунок збільшення продуктивності розливання при використанні вдосконаленого процесу імпульсного різання металу. Проаналізовано особливості динамічної взаємодії елементів системи «Машина імпульсного різання – різальний інструмент – безперервнолита заготовка», запропоновано та за допомогою розроблених моделей процесів різання досліджено перспективні схеми різання та закони руху ножів машини імпульсного різання металу (радіальний, кутовий, Г-подібний), для яких знайдено раціональні геометричні та кінематичні параметри. Обрано найбільш прийнятну схему різання (кутовий рух клиноподібного ножа МІР з кутом 70°), що гарантує усунення «назаднього» імпульсу з одночасно високою якістю зрізу.

Розроблено алгоритм, що дозволяє проводити подібні дослідження, розрахунки з рестартами, параметричне моделювання тощо. Розроблено допоміжні комп'ютерні програми, що дозволяють автоматизувати ввід вхідних даних до системи розрахунків методом скінченних елементів.

Дисертація містить результати теоретичних та чисельних досліджень. Чисельне моделювання виконано у сучасних САЕ-пакетах.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на спільному українсько-російському підприємстві ЗАТ «Турбосталь-Інжиніринг» при розробленні перспективного обладнання для високошвидкісного різання гарячого металу. Результати дослідження використовуються у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

Ключові слова: технологічний процес, обробка матеріалів тиском, навантаження, машина безперервного лиття заготовок, машина імпульсного різання, різання клиноподібними ножами.

Хитрых Е. Е. Совершенствование процессов импульсной резки непрерывнолитых заготовок на основе численного моделирования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Харьков, 2012.

Диссертация посвящена решению важной задачи сокращения затрат на производство металла, получаемого способом непрерывного литья, за счет увеличения производительности разливки при использовании усовершенствованного процесса им-

пульсной резки металла.

С целью устранить нежелательный продольный импульс в сторону кристаллизатора криволинейной МНЛЗ (т. н. «попятный» импульс), возникающий при импульсной резке непрерывнолитых заготовок ножами клиновидной формы, в диссертационной работе был разработан комплекс численных моделей, с помощью которого проанализированы особенности динамического взаимодействия элементов системы «Машина импульсной резки – режущий инструмент – непрерывнолитая заготовка».

Сформулированы ограничения, допущения и краевые условия, принимаемые при «классическом» (с применением уравнений механики сплошных сред) решении задач высокоскоростной резки непрерывнолитых заготовок, а также при решении задач с применением метода конечных элементов.

Уравнения механики сплошных сред с соответствующими краевыми условиями позволяют определить напряженно-деформированное состояние разрезаемой заготовки, при этом необходимо знать поля скоростей точек разрезаемой заготовки, для этого могут быть использованы кинограммы процесса импульсной резки либо конформные отображения.

При разработке комплекса численных моделей процессов импульсной резки была выбрана модель материала заготовки, учитывающая комплекс свойств реального горячего металла, деформируемого с большими скоростями и ускорениями деформаций. В общем случае модель материала заготовки должна учитывать упругопластическое деформирование, особенности высокоскоростного деформирования, зависимость свойств материала заготовки от ее температуры, разрушение материала заготовки, вызванное ее НДС, обусловленным, в свою очередь, воздействием внедряющихся в нее ножей. Модель материала заготовки должна также отвечать физике процесса непрерывного литья.

Проведена верификация получаемых в результате моделирования данных путем сравнения расчетных и экспериментальных значений с результатами моделирования для процесса резки металла ножом-пластиной. Максимальная величина относительной погрешности расчета не превысила 5%, что подтверждает адекватность разработанной численной модели.

Для «классической» схемы резки клиновидными ножами, движущимися вертикально, показано наличие нежелательного «попятного» импульса силы в сторону кристаллизатора криволинейной МНЛЗ, возникающего на завершающей стадии процесса импульсной резки в тот момент времени, когда две зоны металла разрезаемой заготовки, в которых напряжения достигли предела текучести материала при данной температуре, встречаются друг с другом. Для устранения «попятного» импульса предложены перспективные законы движения клиновидных ножей МИР.

С помощью разработанных численных моделей исследованы перспективные схемы резки («классическими» клиновидными ножами, движущимися по определенному закону (радиальному, угловому, Г-образному), а также схема резки комбинированным режущим инструментом), для которых определены рациональные геометрические и кинематические параметры.

Для углового закона движения наиболее приемлемым углом наклона траектории движения ножа является угол 70° , при этом «попятный» импульс отсутствует, качество среза хорошее (соответствует требованиям к поверхности среза заготовки).

Для радиального закона минимальное значение ($2980 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$) «попятный» импульс имеет при отношении величины радиуса траектории движения ножа к характерному размеру сечения заготовки, равном $R/h=7,9$, однако для такой схемы импульс

не устранен полностью.

Г-образная схема движения клиновидных ножей МИР (включающая две стадии – вертикальное движение ножа с последующим резким горизонтальным его смещением в сторону, совпадающую с направлением вытягивания непрерывнолитой заготовки) позволяет устранить «попятный» импульс, однако такая схема сложна с точки зрения практической реализации.

Для комбинированной схемы (резка ножом, имеющим два участка – клиновой и сдвиговой) показано отсутствие «попятного» импульса при разделении непрерывнолитой заготовки. Проведена оптимизация процесса по геометрическим и кинематическим параметрам и найдена оптимальная геометрия комбинированного ножа МИР.

Окончательно выбрана наиболее приемлемая из всех рассмотренных схем – резка клиновидным ножом с углом наклона траектории 70° , обеспечивающая высокое качество среза и полное устранение нежелательного «попятного» импульса в сторону кристаллизатора криволинейной МНЛЗ. Выбранная схема рекомендуется для практического применения ввиду простоты конструкции реализующего ее оборудования.

Разработан алгоритм, позволяющий проводить подобные численные исследования, расчеты с рестартами, параметрическое моделирование и др. Предложенный алгоритм может быть использован при создании автоматизированной системы проведения численных расчетов в области импульсной резки и проектирования режущего оборудования.

Разработаны вспомогательные компьютерные программы, позволяющие автоматизировать ввод исходных данных в систему расчетов методом конечных элементов.

Проанализированы основные направления, по которым можно ожидать экономический эффект при использовании режущего оборудования импульсного действия.

Диссертация содержит результаты теоретических и численных исследований. Численное моделирование выполнено в современных САЕ-пакетах.

Результаты диссертационной работы внедрены на совместном украинско-российском предприятии ЗАО «Турбосталь-Инжиниринг» при разработке перспективного оборудования для высокоскоростной резки горячего металла. Результаты исследований используются в учебном процессе Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ».

Ключевые слова: технологический процесс, обработка материалов давлением, нагружение, машина непрерывного литья заготовок, машина импульсной резки, резка клиновидными ножами.

Khytrykh E. E. Improvement of Impulse Cutting Processes for Continuous Casting by Numerical Simulation. – With Manuscript Rights.

Ph. D. thesis in the field of technical sciences for the specialization 05.03.05 – processes and machines for forming. – National technical university “Kharkov Polytechnic Institute” of Ministry of education and science, youth and sports of Ukraine, Kharkov, 2012.

The thesis describes the solution of an important task of decrease of production cost for continuous castings by increase of casting productivity caused by application of an improved impulse cutting process. A complex of numerical models was developed, the complex was used for analysis of dynamic interaction of elements in the system “Impulse cutting machine – cutting tool – continuous casting”. Perspective types of cutting and laws of motion of cutting tools (radial, angular, L-shaped) were proposed and analyzed with the help of the developed models, optimum geometrical and kinematic parameters were found. An optimum cutting scheme was selected (angular movement of a V-shaped knife with an angle equal to 70°), it guarantees a removal of a “retrograde” impulse and a good cutting quality.

An algorithm which allows to solve similar problems, make calculations with restarts, parametric modeling et al., was developed. Additional computer programs which allow to automate the input of data to a FEA system, were created.

The thesis contains the results of theoretical and numerical research. Numerical modeling was performed in modern CAE programs.

The results of work were implemented at the Ukrainian-Russian Enterprise CJSC “Turbosteel-Engineering” for development of new prospective equipment for high-speed cutting of hot metal. The results of the research work are being used in the National aerospace university “KHAI” for research works and training of specialists.

Key words: manufacturing process, forming, loading, continuous casting machine, impulse cutting machine, cutting with V-shaped knives.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke at the end.

Хитрих Євген Євгенович

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІМПУЛЬСНОГО РІЗАННЯ
БЕЗПЕРЕРВНОЛИТИХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВІ ЧИСЕЛЬНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск:
к.т.н., доцент Левченко В. М.

Підп. до друку 14.12.2012 р. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Друк – різнографічний. Ум. друк. акр. 0,9. Гарнітура Таймс.
Наклад 100 прим. Замовлення № 085090.

Надруковано у СПД ФО Ізрайлев Є. М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61024, м. Харків, вул. Фрунзе, 16
