

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**з виконання практичних занять та самостійної роботи студентів
з навчальної дисципліни**

«Інженерне моделювання технологічних процесів»
для студентів другого рівня вищої освіти за спеціальністю
G10 Металургія

Видання перше, перероблене й доповнене

Затверджено редакційно
видавничою радою університету
Протокол №2 від 26.06.2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки до виконання практичних занять та самостійної роботи студентів з навчальної дисципліни «Інженерне моделювання технологічних процесів», видання 1-ше, перероб. й доп. для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 Металургія рівня магістр. / Уклад. : Акімов О.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 38 с.

Укладач: Акімов О.В.

Рецензент: Дьомін Д. О.

Кафедра ливарного виробництва

ПЕРЕДМОВА

У глобальному вимірі сьогоденний розвиток світової економіки характеризується стрімкими темпами розробки й упровадження новітніх технологій, які ще вчора вважалися «фантастикою», та більш всеохоплюючим і глибоким їх проникненням у життя людини. Поштовхом до більш широкого використання інноваційних розробок, насамперед у промисловості, стала світова фінансова-економічна криза 2008-2009 рр., яка продемонструвала вразливість фінансового сектору економіки без належного розвитку реального та спонукала менеджерів компаній і державних діячів посилити увагу до індустріальної політики. Це спричиняє серйозні економічні, соціальні, політичні, техногенні та інші зміни як для суспільства, так і для навколишнього середовища, у якому воно мешкає.

Окрім загальних питань, останнім часом усе більше уваги приділяється дослідженню впливу цих трансформацій на різні види економічної діяльності через наявність істотних розбіжностей у процесі опанування ними «розумних» рішень і технологій. Не останнє місце серед таких галузей посідає металургійна.

У сучасному світі метал є одним із найбільш використовуваних товарів, що знаходить застосування у багатьох сферах людського життя – від будівельних споруд і транспорту до найсучаснішого обладнання та гаджетів. Металургія перебуває на початку більшості ланцюжків створення вартості, поставляючи життєво необхідні сировину й матеріали для таких видів економічної діяльності, як виробництво металевих виробів, машинобудування, будівництво, енергетика, добувна промисловість та ін. Тому питання її ефективного розвитку виступає підґрунтям підвищення конкурентоспроможності інших секторів економіки та гармонізації відносин із суспільством щодо охорони довкілля та забезпечення соціальних гарантій для працівників.

В Україні металургійна промисловість, з одного боку, залишається одним з основних видів промислової діяльності, забезпечуючи до 16% загального обсягу реалізованої промислової продукції та понад 200 тис. робочих місць, що робить її стратегічно важливою для майбутнього розвитку економіки; з іншого – незважаючи на досить великі обсяги виплавки сталі, галузь практично не має важелів впливу на світовий металоринок та продовжує втрачати лідируючі позиції як на міжнародній арені, так і на внутрішньому ринку через катастрофічно низьке споживання металопродукції в країні та незадовільний рівень інноваційності. У зв'язку з цим актуальним є визначення нових шляхів розвитку вітчизняної металургії в умовах переоцінки проблем, чинників, завдань

і перспектив промислового розвитку в Україні та світі в контексті нових викликів четвертої промислової революції.

У глобальному вимірі проблеми розвитку металургійної промисловості становлять предмет досліджень великих міжнародних організацій, публікації яких присвячені проблемам і перспективам розвитку галузі в умовах нової індустріалізації, основою якої виступають «розумні» (смарт) виробництва, що базуються на використанні найсучасніших діджитал-інструментів на всіх етапах життєвого циклу металопродукції – від видобутку сировини до її утилізації, результатом чого має стати не тільки підвищення ефективності діяльності металургійних підприємств, але і забезпечення сталого розвитку сталеливарної промисловості з акцентом на зростанні її екологізації, ресурсоефективності та соціальній захищеності працівників.

У роботах вітчизняних дослідників досить ґрунтовно висвітлено стан і тенденції розвитку світового металоринку, особливості місця України на ньому, відображено техніко-технологічний аспект і загальні проблеми галузевої діяльності, розглянуто питання необхідності та напрямів промислової політики у металургії, приділено увагу проблемам підвищення енергоефективності металургійних підприємств та їх екологізації тощо.

Водночас в українській науці бракує актуальних досліджень щодо виявлення напрямів стратегічних перетворень у галузі в умовах швидкого розвитку новітніх технологій, точок дотику, «вузьких» місць та стримуючих факторів розбудови металургійної промисловості майбутнього.

У зв'язку з вищезазначеним доцільним є визначення передумов, проблем, особливостей та наслідків розвитку смарт-металургії в Україні в умовах системної кризи діяльності галузі з урахуванням можливостей використання провідного світового досвіду впровадження «розумних» рішень і технологій у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності металургійних підприємств, що становить *мету* даної науково-аналітичної доповіді.

Відповідно до мети *основними завданнями* дисципліни «Інженерне моделювання технологічних процесів» є: виявлення провідних тенденцій і викликів розвитку світової металургії; систематизація особливостей та наслідків становлення металургійних смарт-виробництв у світі; дослідження відмінностей упровадження «розумних» технологій і рішень у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності зарубіжних металургійних підприємств; аналіз передумов та проблем смартизації галузі в Україні; визначення ключових особливостей розвитку української смарт-

металургії.

Оскільки трансформації, які відбуваються в сучасному світі, лише нещодавно (з історичної точки зору) почали значною мірою впливати на діяльність бізнесу, органів державної влади, науки й освіти, уся різноманітність досліджень щодо опису цих перетворень на сьогоднішній день характеризується відсутністю єдиного понятійного апарату, що може ускладнити трактування інформації. Наразі використовуються такі основні поняття: цифровізація (Digitalization), Індустрія 4.0 (Industry 4.0), смартвиробництво (Smart Manufacturing), четверта промислова революція (Fourth Industrial Revolution).

На думку К. Шваба, термін «Індустрія 4.0» «... народився у 2011 році на Ганноверському ярмарку і був призначений для позначення процесу кардинального перетворення глобальних ланцюжків створення вартості. Поширюючи технологію «розумних заводів», четверта промислова революція створює світ, у якому віртуальні та фізичні системи виробництва гнучко взаємодіють між собою на глобальному рівні. Це забезпечує повну адаптацію продуктів і створення нових операційних моделей. Однак четверта промислова революція пов'язана не тільки з «розумними» і взаємопов'язаними машинами і системами. Її спектр дії значно ширший. Одночасно виникають хвилі подальших проривів у найрізноманітніших галузях: від розшифрування інформації, записаної в людських генах, до нанотехнологій, від поновлюваних енергоресурсів до квантових обчислень».¹ Проте у дослідженнях, що мають більш прикладний характер, поняття «Індустрія 4.0» та «четверта промислова революція» часто ототожнюються.² Термін «смарт-виробництво», який Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST) визначається як «повністю інтегровані корпоративні виробничі системи, здатні в режимі реального часу реагувати на мінливі умови виробництва, вимоги мереж поставок і задовольняти потреби клієнтів»,³ за своїм змістом дуже близький до характеристик Індустрії 4.0. З метою виключення різночитань поняття «смарт-виробництво», «Індустрія 4.0» та «четверта промислова революція» (4ІР)

¹ Шваб К. *Четвертая промышленная революция*. Пер. с англ. АНО ДПО «Корпоративный университет Сбербанка». М.: «Эксмо», 2016. 138 с. С. 12.

² The Fourth Industrial Revolution is here – are you ready? *Deloitte*. 2018. 24 p. P. 2. URL: https://www.forbes.com/forbes-insights/wp-content/uploads/2018/01/Deloitte-FourthIndustrialRev_REPORT_FINAL-WEB.pdf (дата звернення: 20.10.2019).

³ Product Definitions for Smart Manufacturing. *National Institute of Standards and Technology*. December 03, 2018. URL: <https://www.nist.gov/programs-projects/productdefinitions-smart-manufacturing> (дата звернення: 02.06.2019).

використовуватимуться як тотожні, тоді як «цифровізація» розумітиметься лише як необхідна передумова становлення 4ПР, оскільки «Індустрія 4.0 набагато більше, ніж діджиталізація, це більше парадигма/філософія, ніж технологія».⁴

Світовий досвід розвитку та впровадження «розумних» виробництв у металургійній промисловості досліджено на прикладі найбільших країнметаловиробників, які, згідно з 2019 Bloomberg Innovation Index,⁵ є лідерами з розвитку та використання смарт-технологій, і, на думку фахівців Всесвітнього економічного форуму (ВЕФ), найбільше підготовлені до четвертої промислової революції.⁶⁷ До таких держав належать Південна Корея, Японія, країни ЄС, США, Китай, а також Індія, Мексика, Туреччина, Гонконг.

Інформаційну базу дисципліни «Інженерне моделювання технологічних процесів» становлять статистичні й аналітичні дані Світової організації виробників сталі (World Steel Association – Worldsteel), Комітету зі сталі ОЕСР (OECD Steel Committee), Глобального форуму з надлишкових сталеплавильних потужностей (Global Forum on Steel Excess Capacity – GFSEC), Всесвітнього економічного форуму (World Economic Forum), Глобального інституту McKinsey (McKinsey Global Institute – MGI),

Державної служби статистики України, нормативних актів України.

Розпочати дослідження доцільно з виявлення особливостей становлення металургійних смарт-виробництв у зарубіжних країнах під впливом ключових тенденцій розвитку галузі у світі.

Актуальність дисципліни «Інженерне моделювання технологічних процесів» зумовлена необхідністю визначення проблем, особливостей і наслідків стратегічних перетворень у металургійній промисловості України в контексті сучасних глобальних техніко-технологічних і соціально-економічних трансформацій під впливом постійного вдосконалення та всеохоплюючого впровадження «розумних» рішень і технологій.

⁴ Peters H. How could Industry 4.0 transform the Steel Industry? *Future Steel Forum*. Warsaw, 14.-15.6.2017. 22 p. P. 22. URL: <https://futuresteelforum.com/contentimages/speakers/Prof.-Dr-Harald-Peters-Industry-4.0-transform-the-steel-industry.pdf> (дата звернення: 02.06.2019).

⁵ Jamrisko, M., Miller, L.J., Lu, W. These Are the World's Most Innovative Countries. *Bloomberg*. 22 Jan. 2019. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-0122/germany-nearly-catches-korea-as-innovation-champ-u-s-rebounds> (дата звернення: 02.06.2019).

⁶ Readiness for the Future of Production Report 2018. *World Economic Forum. In collaboration with A.T. Kearney. Insight Report*. 2018. 254 p. P. 12. URL: http://www3.weforum.org/docs/FOP_Readiness_Report_2018.pdf (дата звернення:

⁷ 06.2019).

Основні результати. Історичними передумовами смартизації металургійної промисловості є її успішний розвиток протягом усіх промислових революцій, а також те, що метал залишається одним з основних конструкційних матеріалів. Актуальність смартизації пов'язана з підвищенням ефективності діяльності металургійних підприємств і необхідністю відповідати сучасним вимогам контрагентів. Необхідність смартизації вбачається у майбутньому поступальному розвитку галузі, оскільки існує небезпека залишитися осторонь провідних економічних процесів. Головна мета становлення металургійних смарт-виробництв полягає у підвищенні адаптивності галузі до динамічних змін у зовнішньому середовищі.

Ядром розвитку смарт-металургії є цифровізація галузі з використанням таких «розумних» рішень і технологій, як інтернет речей, смарт-пристрої, роботи, штучний інтелект, великі дані, адитивні технології, предиктивна аналітика тощо. Новітні технології розробляються й удосконалюються з великою швидкістю, тому головне завдання – виокремити основні точки дотику та напрями впровадження цих технологій.

Найбільш стрімко впровадження смарт-технологій відбувається в організаційно-економічній сфері діяльності металургійних підприємств, де головним напрямом виступає підвищення клієнтоорієнтованості бізнесмоделі, найбільш повільно – у виробничій сфері, де акцент робиться на зростанні ефективності діяльності підприємств. Соціальна сфера відрізняється середнім рівнем швидкості смартизації та фокусується на поліпшенні умов і безпеки праці, зміні вимог до робочої сили.

Процес розробки й упровадження «розумних» технологій у металургійній галузі України перебуває на початковому етапі, незважаючи на її стратегічний характер для національної економіки. Причинами є загальне відставання країни та вітчизняної металургії за рівнем інноваційної активності, значний обсяг перевиробництва металу та критично низький рівень внутрішнього споживання металопродукції, недосконалість нормативної бази діяльності галузі.

Порівняно зі світовими аналогами в українській металургійній промисловості знаходить застосування лише частина смарт-технологій, відомих у провідних країнах-металовиробниках. Однак головні тренди смартизації галузі здебільшого схожі й полягають у цифровізації продукції та послуг, посиленні клієнтоорієнтованості бізнес-моделі, оптимізації роботи обладнання та поліпшенні умов і безпеки праці в режимі реального часу.

Основними позитивними наслідками смартизації металургійної промисловості є підвищення її ресурсоефективності й екологічності,

негативними – суттєве зростання кібернетичних загроз та вивільнення працівників у короткостроковій перспективі. Більш неоднозначною представляється зміна ролі людини у виробничому процесі, що може як привести до зменшення кількості помилок, викликаних людським фактором, так і стати причиною недостатньої гнучкості реагування при виникненні форс-мажорних ситуацій.

Висновки. Запропоновано науково-аналітичний підхід до визначення особливостей використання смарт-рішень і технологій у виробничій, організаційно-економічній та соціальній сферах діяльності металургійних підприємств України. Він полягає у виокремленні провідних напрямів і відповідних їм «розумних» технологій для смартизації галузі в кожній окремій сфері діяльності та дозволяє виявити «вузькі» місця і стримуючі чинники використання смарт-технологій у металургії.

Установлено, що «вузьким» місцем упровадження смарт-технологій є виробнича сфера внаслідок необхідності значного проміжку часу та великих капіталовкладень для здійснення принципово нових інноваційних відкриттів щодо вдосконалення металургійного процесу.

Стримуючим фактором виступає соціальна сфера через неготовність співробітників сприймати нову цифрову культуру та зміни на ринку праці.

Найбільш стрімко «розумні» технології знаходять застосування в організаційно-економічній діяльності металургійних підприємств унаслідок всеохоплюючої переорієнтації виробництва готової продукції на запити клієнтів та пришвидшеної цифровізації фінансово-логістичних операцій в усьому світі.

Напрями подальших досліджень. Серед проблем, що потребують подальших досліджень, – визначення довгострокових чинників розвитку української металургії та обґрунтування напрямів стратегічних перетворень у галузі в умовах переоцінки завдань і перспектив промислового розвитку в Україні та світі в контексті нових викликів четвертої промислової революції.

1. РОЛЬ ЕОМ В РІШЕННІ ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВИЛИВКІВ

Підвищення якості, зниження вартості промислової продукції, зменшення часу виходу нової продукції на ринок залишаються визначальними чинниками успіху в промисловому виробництві сьогодні і в осяжному майбутньому. До найбільш ефективних технологій, що дають ваговитий виграш в короткі терміни, належать системи автоматизованого проектування, інженерного аналізу і технологічної підготовки (CAD/CAM/CAE - системи), а також системи управління проектними і інженерними даними підприємства (PDM-системи). Стрімкий розвиток цих систем є загальносвітовою тенденцією, що характерно і для ведучих машинобудівних підприємств.

Системи автоматизованого проектування (САПР) займають виняткове положення серед комп'ютерних застосувань - це індустріальні технології, безпосередньо направлені в сферу найважливіших областей матеріального виробництва. Можна з упевненістю сказати, що рівень розвитку і стратегічний потенціал нації сьогодні визначаються не наявністю природних ресурсів (нафти, газу і ін.), а в набагато більшій мірі тим, скільки вона має упроваджених комп'ютерних технологій проектування, інженерного аналізу, технологічної підготовки виробництва і автоматизованого управління виробництвом (наприклад, контракт General Motors з компанією EDS передбачав постачання 10 000 робочих місць САПР – Unigraphics одночасно). Стало непорушним фактом те, що сьогодні вже неможливо без комп'ютерної автоматизації проводити сучасну техніку, що стала надзвичайно складною і вимагає виняткової точності при виготовленні.

Використання системних методів для вирішення завдання підвищення якості машинобудівних виробів, взагалі, і що виготовляються методом литва відливань, зокрема, передбачає істотне використання можливостей ЕОМ, як мінімум на таких етапах «життєвого циклу» виробу як: проектування (2-й); підготовка і розробка виробничих процесів (4-й); контроль, проведення випробувань і обстеження при виробництві (6), експлуатація (9-й). Всі вони отримали віддзеркалення в концепціях побудови сучасних систем CAD/CAM/CAE/CNS/CIM/PDF. Спеціалізовані CAE системи моделювання процесів литва безпосередньо акумулюють математичні моделі, технологічний досвід і знання в області ливарного виробництва.

Впровадження сучасних CAD/CAM/CAE/PDM і CIM систем направлене на:

- істотне скорочення термінів проектування, підготовки виробництва і циклу виготовлення виробів;
- підвищення якості виготовлення виробів (за рахунок можливості ефективного аналізу створюваних виробів, простого доступу до всієї необхідної інформації, потужних засобів візуалізації створюваних моделей виробів);

- організацію безперервного циклу проектування і виготовлення виробу, а також створення системи достовірного обліку, контролю і управління проектними ресурсами і термінами виконання етапів (за рахунок вбудованих засобів автоматизованого управління процесом проектування);
- можливість оптимального вибору економічно вигідних стандартних комплектуючих виробів (за рахунок використання готових баз даних постачальників устаткування і параметричних бібліотек стандартних елементів)
- підвищення конкурентоспроможності продукції, що випускається (за рахунок можливості оперативної розробки виробів різної номенклатури високоякісних виробів відповідно до вимог ринку);
- значну економію засобів при створенні нових виробів силами співробітників окремої фірми (за рахунок відмови від послуг сторонніх організацій при проектуванні нових виробів, виключення помилок і скорочення об'єму поточних змін, супутніх будь-якому процесу проектування);
- виключення помилок і скорочення об'єму поточних змін, супутніх будь-якому процесу проектування (за рахунок відмінних можливостей візуалізації проектного виробу, вбудованих засобів перевірки взаємного просторового пересічення деталей, використання перевірених типових рішень, виключення дублювання інформації, автоматизації виконання монотонних однотипних операцій, підвищення акуратності і точності виконаних робіт);
- обґрунтування вибору матеріалу і величини витрат на використовувані у виробі матеріали, відмову від створення масштабних макетів виробів (за рахунок вбудованих засобів перевірки міцностних характеристик виробів по створених моделях);
- впровадження сучасних технологій (за рахунок використання тривимірних моделей виробів при підготовці даних для робототехнічних комплексів, верстатів з числовим програмним забезпеченням і автоматичних ліній).

Хоча проектування і технологічне опрацювання машинобудівного виробу і є найбільш складними і відповідальними етапами у всьому життєвому циклі, але комп'ютерна підтримка не обмежується лише ними. Нова технологія CALS (безперервна інформаційна підтримка життєвого циклу виробу або продукту) є глобальною стратегією підвищення ефективності бізнес-процесів за рахунок інформаційної інтеграції і спадкоємності інформації, що породжується на всіх етапах життєвого циклу.

Аналогічні моделі з успіхом можуть бути використані при створенні системи забезпечення якості продукції. В цьому випадку у формі функціональної моделі може бути описана реалізація функцій забезпечення якості продукції, регламентованих стандартами ISO серії 9000. Розроблена функціональна модель дозволяє виявити логічні помилки, допущені при побудові системи забезпечення якості, уточнити розподіл повноважень і відповідальності, автоматично генерувати звітні документи по структурі системи.

1.1. Тенденції і досвід вживання алгоритмічних підходів до управління якістю машинобудівних виробів.

Введемо визначення вживаних термінів.

CAD - Computer-Aided Design (системи автоматизованого проектування, САПР) - спільний термін для позначення всіх аспектів проектування з використанням засобів обчислювальної техніки. Зазвичай охоплює створення геометричних моделей виробу (твердотілих, тривимірних, складених), а також генерацію креслень виробу і їх супровід. Слід зазначити, що вітчизняний термін "САПР" по відношенню до промислових систем має ширше тлумачення, ніж "CAD" - він включає як CAD, так і CAM, а інколи і елементи CAE.

Залежно від вартості системи умовно виділяють три класи CAD-систем:

CAD початкового (першого) рівня - характеризуються ціною до 1000 \$ США і виконуються на звичайних ПК. Орієнтовані на двовимірні об'єкти і побудову креслень, програмування 2,5-осевої Чпу-обработки. (КОМПАС, Базис, AUTOCAD і Mechanical Desktop, CADdy++, VERSACAD, CadKey, Personal Designer, VISUALCADD)

CAD системи середнього рівня - (ціна до 8 тис. дол.) вимагають ПК старшого класу із спеціальним графічним устаткуванням або молодших моделей робочих станцій. Ці системи дозволяють створити об'ємну модель виробу, по якій можна визначити інерційно-масові, міцнісні і інші характеристики, промодельовати всі види Чпу-обработки, контролювати соби́раємость, випускати документацію. Це SolidWorks (SolidWorks Inc.), SolidEdge (Intergraph), Cimatron (Bee- pitron). Pro/LUNIOR, PT/Modeler Engineer (Parametric Technology, PRELUDE DESIGN (Matra Division), Anvil Express, I-DEAS Artisan Series і так далі

CAD системи вищого (старшого) рівня (або "важкі CAD") - дозволяють не лише створити об'ємну модель виробу, по якій можна визначити інерційно-масові, міцнісні і інші характеристики, промодельовати всі види ЧПУ-обработки, але і дають можливість контролювати технологічність, проводити динамічний аналіз збірки з імітацією складальних пристосувань і інструменту, проектувати оснащення. Сучасні CAD-системи старшого класу є дуже великими програмними комплексами. У їх склад входить декілька десятків крупних функціональних модулів. Важкі CAD зазвичай працюють на робочих станціях і графічних серверах RISC/Unix/NT, хоча деякі реалізовані і під середу Wintel (Windows 95 або Windows NT). Вартість їх досить висока - десятки тисяч \$. До них відносять: Unigraphics (EDS), Pro/Engineer (Parametric Technology) + CADD5 (Computervision), Catia (IBM/Dassault), Euclid (Matra Division), I/EMS (Intergraph), PE/SolidDesigner (Hewlett-Packard), а також Anvil 5000, I-DEAS Master Series, ADAMS, ALIAS, DUST-5.

CAE - Computer-Aided Engineering (системи автоматизованого інженерного аналізу) - спільний термін для позначення інформаційного забезпечення автоматизованого аналізу проекту, що має метою виявлення помилок (міцнісні і динамічні розрахунки, колізії кінематики і т. п.) або оптимізацію виробничих

можливостей. Це програмні комплекси: ANSYS (ANSYS, Inc.), MSC/NASTRAN (MacNeal-Schwendler Corporation), UAI/NASTRAN (Universal Analytics Inc), HyperMesh (Altair Computing Inc.), MARC (MARC Analysis Research Corp.), DADS (Computer Aided Design Software, Inc.), SYSN0ISE (IMS), а також COSMOS/M, PATRAN, DYNA, ABAQUS, ALGOR, ADAMS, C-MOLD, MOLDFLOW, COMET/ACOUSTICS і ін.

Сучасні програми CAE безпосередньо сприймають на вході геометрію твердого тіла, автоматично генеруючи кінцевоелементну сітку, проводять на ній розрахунок і наносять результати на 3D-модель. Аналіз може полягати в розрахунку простих фізичних характеристик: ваги деталі, центроїдів або у виконанні складніших видів досліджень, включаючи міцнісний, термічний, вібраційний, кінематичний і динамічний аналіз. Крім того, проводиться імітація таких виробничих процедур, як штампування, заливка і охолодження, екструзія і ін.. Для візуальної оцінки динаміки заповнення шаблонів і достатку проникних каналів будується мультиплікація, яка допомагає виявити некоректні ділянки на зварних швах і лініях порожнини деталі. Моделювання механообробки дозволяє оцінити якість деталі з точки зору усадки і деформації (викривлення, перекосу, викривлення).

CAM - Computer Aided Manufacturing (системи автоматизованої підготовки виробництва) - спільний термін для позначення програмних систем підготовки інформації для верстатів з числовим програмним управлінням. Наприклад Surfcam, Gemma-3d, T-FLEX, Edgcam, Smartcam, Cimatron 9, Virtual Gibbs, CGtech Vericut, MASTERCAM, SMARTCAM, EDGE CAM, SOLIDCAM і ін.

PDM - системи управління виробничою інформацією - інструментальний засіб, який допомагає адміністраторам, конструкторам, інженерам, технологам і іншим фахівцям управляти як даними, так і процесами розробки виробу на сучасному виробничому підприємстві або в групі підприємств-суміжників. Системи PDM стежать за великими, такими, що постійно оновлюються масивами даних і інженерно-технічної інформації, необхідними на етапах проектування, виробництва або будівництва, а також підтримки експлуатації, супроводу і утилізації технічних виробів - "продуктів". Системи PDM в цьому плані відрізняються від баз даних тим, що інтегрують інформацію будь-яких форматів і типів, що поступає від різних джерел, надаючи її користувачам вже в структурованому вигляді, причому структуризація прив'язана до особливостей сучасного промислового виробництва. Системи PDM відрізняються і від інтегрованих систем офісного документообігу, оскільки текстові документи - не далеко "найпотрібніші" на виробництві, куди важливіше геометричні моделі, дані для функціонування автоматичних ліній, верстатів з ЧПУ і тому подібне Системи PDM узагальнюють такі широко відомі технології, як управління інженерними даними (engineering data management - EDM), управління документами, управління інформацією про виріб (product information management - PIM), управління технічними даними (technical data management - TDM), управління технічною інформацією (technical information management - TIM), управління

зображеннями, і інші системи, які використовуються для маніпулювання інформацією, що всесторонньо визначає конкретний виріб. Коротше кажучи, будь-яка інформація, необхідна на тому або іншому етапі життєвого циклу виробу, може управлятися системою PDM, яка надає коректні дані всім користувачам і всім промисловим інформаційним системам у міру потреби. Поряд з даними, PDM управляє і проектом - процесом розробки виробу, контролюючи власне інформацію про виріб - "продукт", про достаток об'єктів даних, про затвердження змін, що вносяться, здійснюючи авторизацію і інші операції, які впливають на дані про виріб і режими доступу до них кожного конкретного користувача.

Таким чином, йдеться про повний, централізований і постійним автоматизований контроль за всією сукупністю даних, що описують як сам виріб, так і процеси його конструювання, виробництва, експлуатації і утилізації.

Вітчизняні термінологічні аналоги – КІС (корпоративна інформаційна система), АСУП (автоматизована система управління підприємством), АСУТП - АСУ технологічним процесом.

Наприклад: R/3 (SAP AG), як частини CAD - Pro/PDM (PTC), IMAN (EDS), Optegra (Computervision), CDM (IBM), а також BAAN IV (Baan), MAN-MAN/X (Computer Associates), Scala (Scala), Platinum SQL (Platinum Software), Sun Systems (Systems Union), CA-PRMS (Computer Associates)

Характеризуючи сучасний достаток розвитку комп'ютерних систем для сучасного машинобудівного виробництва слід зазначити наступні характерні тенденції:

1. Стара теза інтеграції всього циклу створення виробу від проектування до аналізу і підготовки виробництва поступово отримує реальне втілення в програмному забезпеченні сучасних найбільш потужних інтегрованих CAD-систем (вищого рівня). З'явилося значно більше підстав називати їх вже не CAD-системами, а системами CAD/CAM/CAE і PDM.

Завдання інтеграції поставила на перше місце компанія Parametric Technology (PTC), спочатку зробивши в своєму продукті Pro/Engineer (1988 рік) ставку на повну асоціативність всіх видів даних про виріб на основі єдиної структури бази (концепція "повного електронне визначення виробу").

Сьогоднішній рівень, якому повинні відповідати системи автоматизації, можна визначити, користуючись термінологією компанії Computer-vision (далі CV), як "Повний електронний опис об'єкту" (EPD - Electronic Product Definition). EPD - це технологія, яка забезпечує розробку і підтримку електронної інформаційної моделі впродовж всього життєвого циклу об'єкту, включаючи маркетинг, концептуальне і робоче проектування, технологічну підготовку, виробництво, експлуатацію, ремонт і утилізацію.

Аналогічні підходи застосовують і інші виробники. 2-мірне проектування, яке раніше було базовим в конструкторських підрозділах, характерне для систем CAD "початкового" рівня, вважається минулим етапом, а креслення розглядається як похідна від об'ємного (твердотілого) проектування.

Твердотіла модель відкриває унікальні можливості для підготовки виробництва: досягнуте п'ятикратне поліпшення в точності обробки поверхонь і в чотири - шість разів скорочено час програмування верстатів ЧПУ. Підвищення якості виробу вимагає створення високоточних траєкторій інструментів, а для цього потрібно генерувати набагато більші об'єми даних, оскільки ріжучому інструменту при цьому необхідно зробити набагато більше проходів по кожній траєкторії. Щоб створити програму ЧПУ при виготовленні типової голівки блоку циліндрів, потрібна робота 3-4 фахівців протягом, приблизно, п'яти місяців, при цьому генерується близько мільйона крапок. Автоматична генерація твердотілої моделі за допомогою, наприклад, CV Toolmaker виконується за півгодини, враховується два з половиною мільйони крапок і досягається висота гребінців менше 0.0001 дюйма при промисловому стандарті в 0.0005 дюйма.

Типовий для сьогоdnішнього високотехнологічного виробництва проект найчастіше охоплює "розширене підприємство", в якому співробітничать розробники, постачальники, виробники і замовники. Оскільки багато з учасників проекту і постачальники можуть знаходитися в різних країнах, стає зрозуміло, що для забезпечення такої діяльності окрім ПК і локальної мережі потрібні потужні мережеві сервери, високопродуктивні графічні робочі станції і глобальна мережа Internet.

1. Концепція "повного електронного визначення виробу" в даний час розвинулася до концепції Total Product Modelling (спільна модель виробу) - новітньою методика інтеграції даних, якнайповніше відповідною ідеям і цілям PDM, коли захоплюються всі дані про виріб зі всіх ділянок від конструкторських бюро до маркетингових служб для побудови повного, всестороннього опису як самого виробу (геометричні цифрові тривимірні твердотілі моделі САПР, кінцево-елементні моделі для аналітичних розрахунків), так і технологічних прийомів його виробництва, особливостей його функціонування, режимів вживання і тому подібне. Доки такий підхід до інтеграції даних реалізований лише в САПР CATIA (IBM/Dassault) - "Virtual Product Modelling", Optegra/CADDS5 (Computer-vision) - "Electronic Product Definition" і EDS/ Unigraphics.

Іншими характерними можливостями таких систем стали:

- Повна параметризація всіх моделей, вперше застосована компанією PTC в 1989 р. (Pro/Engineer), що дуже істотно при ітеративному характері роботи при проектуванні. Давно відмічено, що найбільший об'єм робіт - це не само проектування, а внесення змін і виправлення пов'язаних з цими змінами помилок. Процес параметричного моделювання можна описати таким чином: в ході побудови система нагромаджує конструкційні параметри і співвідношення між ними, а також формує протокол (історію) створення геометрії, дозволяючи простою зміною параметрів легко модифікувати і регенерувати модель.

- Великі складки. Зараз можлива робота із складками з тисяч і десятків тисяч деталей. У міру того як користувачі CAD рухалися до паралельного проектування, коли команди технологів і проектувальників почали працювати спільно, свідомість змістилася у бік сборко-центричної і продукто-центричної

концепції. Якщо шляхом комп'ютерного моделювання збірки проектувальник може зафіксувати нестиковку, він заощадить на вартості виготовлення фізичного прототипу. Сьогодні багато постачальників CAD-систем старшого класу випустили засоби, що підтримують одночасний доступ користувачів до деталей і складок.

- Можливість швидкої візуалізації складних об'єктів і складок. Більшість засобів моделювання складок використовують стратегії спрощення для того, щоб впоратися з проблемою великого об'єму даних. Перша стратегія дозволяє завантажувати лише ту частину збірки, яка споживачеві потрібна для роботи. Друга стратегія спрощення складок дає можливість показати вигляд з меншим числом деталей для деяких компонентів. Третя стратегія використовує сіткове представлення геометрії деталей, а не їх точну математичну виставу, що вимагає значно менше часу і ресурсів.

- Гібридне моделювання (CADD5 5, UG/Solid Modelling, Euclid, CATIA) дозволяє поєднувати каркасну, поверхневу, твердотілу геометрію і використовувати комбінації жорстко розмірного (з явним завданням геометрії) і параметричного моделювання.

2. З іншого боку, однієї з головних тенденцій сучасного ринку САПР є активний розвиток доли середніх систем автоматизації, орієнтованих на молодші, недорогі моделі робочих станцій Unix і платформи Windows 95/NT. Це SolidWorks (SolidWorks Inc.), SolidEdge (Intergraph), Cimatron (Bee-pitron). Фірми розробники "важких" САПР спішно випускають САПР середнього рівня, працюючих незалежно і спільно з САПР третього рівня: Unigraphics - Solid Edge або SolidWorks; Pro/Engineer - PT/Modeler; EUCLID 4 - PRELUDE DESIGN; Anvil 5000 - Anvil Express; I-DEAS Master Series - I-DEAS Artisan Series.

Наслідком цієї тенденції стало усвідомлення більшістю користувачів того факту, що системи молодшого класу хороші лише для вирішення певного круга проблем і малоефективні з точки зору середніх і крупних компаній, діяльність яких далеко виходить за рамки креслення, нехай навіть і з розширеними можливостями тривимірного моделювання. Важкі вимагають потужного устаткування і самі по собі достатньо дорогі. По оцінках експертів, системи середнього класу можуть покрити до 80% типових машинобудівних завдань.

Цьому сприяє також процес стрімкого зростання потужності відносно недорогих персональних комп'ютерів (ПЕВМ, ПК, РС), фізичні можливості яких на сьогодні порівнялися з робочими станціями 2-3х літньої давності і продовжують зростати. Так відповідно до відомого закону Мура продуктивність процесорів ПК подвоюється кожні 1,5-2 року. Їмкість жорстких дисків зростає приблизно в 1,5 разу за той же період часу. Саме ПЕВМ володіють високою універсальністю і якнайкращим співвідношенням ціна/продуктивність.

ОС UNIX "здає" свої позиції як середня, в якій функціонують серйозні системи CAD/CAM. Системи CAD/CAM середньої потужності, які 2 року назад працювали лише під ОС UNIX на робочих станціях (вартістю від 20 тисяч \$) працюють під WINTEL (SolidEdge, SolidWorks). Цьому також сприяє факт

широкого поширення базових програмних вирішень фірми Microsoft, у тому числі для мережевої роботи (особливо Windows NT), що дозволяють зв'язувати різні групи проектувальників, що раніше було можливе лише на платформі UNIX.

Збільшується інтеграція функцій з CAD в базові операційні системи, що природним чином сприяє стандартизації цих функцій. Найбільш відомий приклад - плани включення OpenGL в Windows. Вже зараз OpenGL - найлегший і універсальний метод рендеринга об'єктів CAD.

3. Обґрунтована стратегія створення "багаторівневих комплексів", що включають пари твердотілих CAD/CAM важкого і середнього рівня (з єдиним геометричним ядром) і CAD початкового рівня. При цьому вся система подібна до піраміди, де в підставі - велике число легених CAD (для доопрацювання креслярської документації), а у вершині - одне або декілька робочих місць на базі "важких" систем.

4. Розвиваються програми конвертори найбільш поширених форматів тривимірних геометричних даних, але повної сумісності форматів доки немає і можливо не буде із-за різниці в наборі геометричних функцій. Тому від вибору геометричного ядра (при виборі CAD) системи надовго залежатиме можливість вживання тих або інших CAM/CAE/CIM/PDF систем). Тому також важливою характеристикою САПРу слід вважати різноманітність форматів експорту і імпорту інформації.

Ядром всіх сучасних САПР є модуль геометричного моделювання, який дає можливість побудувати коректний опис проектованого продукту, що є базою для всіх останніх завдань, що вирішуються в рамках системи. Сучасна САПР зобов'язана мати можливість моделювати геометрію твердого тіла методом Brep. Метод отримав назву від скорочення терміну Boundary Representation - опис тіла за допомогою представлення кордонів або точного аналітичного завдання граней, що обмежують тіла. Це єдиний метод, що дозволяє створити точне, а не приблизне представлення геометрії тіла. Сьогодні важко зустріти систему, яка б не мала або не декларувала б наявність методів твердотілого моделювання. Проте функціональні можливості методів побудови твердого тіла в двох системах можуть сильно відрізнятися один від одного. Слід звертати увагу на функціональну повноту, можливість вирішувати топологічні складні завдання: скруглення змінного радіусу, що перекриваються, побудова тонкостінного тіла із зміною топології, взаємозв'язок методів побудови поверхонь і твердого тіла, можливість параметризації і зміни моделі.

Досягненням сучасного періоду можна вважати методи побудови поверхонь довільної форми на основі B-сплайнов - NURBS, що стали стандартом де-факто для проектування складних поверхонь.

5. Якщо раніше комп'ютерні і інформаційні технології розвивалися по шляху поступового нарощування потужностей і вирішення завдань локальної автоматизації (що приводить до накопичення баз даних і підготовки кадрів, але і до різномірних погано сумісним комплексам), то зараз різкий ривок в області сучасних інформаційних технологій досягається за допомогою створення

корпоративних інтегрованих інформаційних систем управління підприємством (PDF), яка включає окрім CAD/CAM/CAE ще і:

- автоматизовану підсистему технічної підготовки виробництва;
- підсистему інформаційного управління матеріально-технічним постачанням і складами, плануванням і диспетчеруванням виробничих процесів;
- підсистему автоматизації фінансово-економічної діяльності і бухгалтерського обліку, оперативної підготовки даних для аналізу, стратегічного прогнозування і ухвалення оптимальних рішень, що управляють;
- підсистема документообігу і електронного архіву

Популярною архітектурою є "клієнт-сервер", де ОС сервера - "UNIX", клієнта - "Windows NT", основна СУБД - "Oracle".

6. Процес створення складного виробу характеризується інтенсивним обміном результатами роботи між організаціями, підрозділами організації і конкретними виконавцями, що беруть участь в розробці. При цьому взаємодія відбувається на всіх етапах "життєвого циклу" продукту і охоплює фази виробництва і експлуатації. Ефективна робота такого конгломерату («віртуального підприємства») забезпечується вживанням CALS технологій.

CALS Continuous Acquisition and Life-Cycle Support (безперервна інформаційна підтримка життєвого циклу виробу або продукту) - протокол цифрової передачі даних, розроблений Міністерством оборони США у зв'язку з необхідністю підвищення ефективності управління і скорочення витрат на інформаційну взаємодію в процесах замовлення, постачань і експлуатації засобів озброєння і військової техніки (ВВТ). Рушійною силою з'явилася природна потреба в організації "єдиного інформаційного простору", що забезпечує оперативний обмін даними між замовником - федеральними органами, виробниками і споживачами ВВТ. Дана концепція спочатку базувалася на ідеології "життєвого циклу" продукту і охоплювала фази виробництва і експлуатації. На первинному етапі аббревіатура CALS розшифровувалася як Computer Aided Logistic Support - комп'ютерна підтримка постачань.

Предметом CALS була безпаперова технологія взаємодії між організаціями що замовляють, проводять і експлуатують військову техніку, а також формат представлення відповідних даних. Довівши свою ефективність CALS-технології перестали бути прерогативою військового відомства і почали активно застосовуватися в промисловості, будівництві, транспорті і інших галузях економіки, розширюючись і охоплюючи всі етапи життєвого циклу продукту - від маркетингу до утилізації.

На сьогодні CALS забезпечує стандартні механізми доставки цифрових даних і поточного інжинірингу для спонсорованих Міністерством оборони розробок. CALS використовує стандарти IGES і STEP як формати даних. У CALS входять також стандарти електронного обміну даними, електронної технічної документації і керівництва для удосконалення процесів.

За своєю суттю сьогодні CALS є глобальною стратегією підвищення ефективності бізнес-процесів, що виконуються в ході життєвого циклу продукту за рахунок інформаційної інтеграції і спадкоємності інформації, що породжується на всіх етапах життєвого циклу. Засобами реалізації даної стратегії є CALS-технології, в основі яких лежить набір інтегрованих інформаційних моделей - самого життєвого циклу і виконуваних в його ході бізнес-процесів, продукту (вироби), виробничої і експлуатаційної середи і ін. Можливість спільного використання інформації забезпечується вживанням комп'ютерних мереж і стандартизацією форматів даних, що забезпечує їх коректну інтерпретацію.

Ідеальною основою для вирішення поставленого завдання є використання єдиної інтегрованої моделі продукту і його життєвого циклу, що описує об'єкт настільки повно, що виступає в ролі єдиного джерела інформації для будь-яких виконуваних в ході життєвого циклу процесів.

На відміну від концепції IACU (інтегрована система управління виробництвом) концепція CALS охоплює не лише виробництво, але і всі останні етапи життєвого циклу, але не стосується технології вирішення прикладних завдань (проектування, планування і так далі).

Предметом CALS-технологій є формат вистави в електронному вигляді результатів вирішення прикладних завдань, незалежно від джерел їх походження, безпека цієї електронної інформації і юридичні питання її спільного використання.

Очевидно, що вирішення вказаних проблем можливе лише за рахунок стандартизації способів вистави, інтерпретації і використання інформації. Тому питання міжнародної і національної стандартизації форматів моделей і даних, використовуваних в процесах розробки, комплектації, виробництва, модернізації, збуту, експлуатації, сервісного обслуговування і утилізації є важливою складовою частиною CALS.

У багатьох розвинених країнах CALS розглядається як стратегія виживання в ринковій середі, що дозволяє:

- розширити області діяльності підприємств (ринків збуту) за рахунок кооперації з іншими підприємствами, забезпечуваною стандартизацією представлення інформації на різних стадіях і етапах життєвого циклу. Використання сучасних телекомунікацій робить не принциповим географічне положення і національну приналежність партнерів. Нові можливості інформаційної взаємодії дозволяють будувати кооперацію у формі "віртуальних" підприємств, що діють протягом ходу ЖЦ. Стає можливою кооперація не лише на рівні готових компонентів, але і на рівні окремих етапів і завдань: у процесах проектування, виробництва і експлуатації;
- підвищити ефективності бізнес-процесів, що виконуються протягом життєвого циклу продукту; за рахунок інформаційної інтеграції і скорочення витрат на паперовий документообіг, повторне введення і обробку інформації, забезпечити спадкоємність результатів роботи в комплексних проектах і можливість зміни складу учасників без втрати вже досягнутих результатів;

- підвищити "прозорість" і керованість бізнес-процесів дорогою їх реінженіринга, на основі інтегрованих моделей життєвого циклу і виконуваних бізнес-процесів, скоротити витрати в бізнес-процесах за рахунок кращої збалансованості ланок;
- підвищити привабливість і конкурентоспроможність виробів, спроектованих і вироблених в інтегрованій середі з використанням сучасних комп'ютерних технологій і що мають засоби інформаційної підтримки на етапі експлуатації;
- забезпечити задану якість продукції в інтегрованій системі підтримки життєвого циклу шляхом електронного документування всіх виконуваних процесів і процедур.

Першим кроком до підвищення ефективності організаційної структури, що підтримує одну або декілька фаз життєвого циклу продукту, є моделювання і аналіз її функціонування. Парадоксальним є той факт, що, як правило, ніхто не уявляє собі детально як функціонує та або інша організаційна система. Фахівці в деталях знають як працює конкретний підрозділ, вище керівництво не може вдаватися до подробиць, тому майже в будь-якій системі є невикористані резерви підвищення ефективності її роботи. Мета бізнес-анализу - виявити існуючу взаємодію між складовими частинами і оцінити його раціональність і ефективність. Для цієї мети з використанням CALS-технологій розробляються функціональні моделі, що містять детальний опис процесів, що виконуються, в їх взаємозв'язку. Формат опису регламентований стандартами IDEF/0 і ISO 10303 AP208. Отримана функціональна модель не лише є детальним описом процесів, що виконуються, але також дозволяє вирішувати цілий ряд завдань пов'язаних з оптимізацією, оцінкою величини і розподілу витрат, оцінкою функціональної продуктивності, завантаження і збалансованості складових частин, тобто питань аналізу і реінжинерінга бізнес-процесів (Business Process Reengineering - BPR).

Спільне, кооперативне проектування і виробництво виробу, може бути ефективним у випадку, якщо воно базується на основі єдиної інформаційної моделі виробу. Таке завдання актуальне не лише для стійко існуючих виробничих структур, але і для структур, тимчасово створюваних для реалізації наукоємких проектів і виконання крупних замовлень, що включають НДІ, КБ, основних підрядчиків, субпідрядників, постачальників і так далі, географічно віддалених один від одного, використовуючих несумісні комп'ютерні платформи і програмні рішення. Тривалість життя такої структури визначається часом виконання замовлення або життєвого циклу створюваного продукту (корабля, літака, космічної станції).

В термінах CALS така структура називається віртуальним підприємством. Віртуальне підприємство не є юридичною особою, але характеризується спільним "інформаційним простором", що забезпечує, за умови дотримання відповідних стандартів, спільне використання інформації.

Що розробляється на даній фазі конструкторсько-технологічна інформаційна модель базується на використанні стандарту ISO 10303 STEP. Створена одного дня, модель виробу використовується багато разів. До неї

вносяться доповнення і зміни, вона служить відправною крапкою при модернізації виробу. Дотримання стандарту забезпечує коректну інтерпретацію інформації, що зберігається.

Використання стандартного способу представлення конструкторсько-технологічних даних дозволяє вирішити проблему обміну інформацією між різними підрозділами підприємства, а також учасниками кооперації, оснащеними різнорідними системами проектування. Стандартизація формату даних забезпечує можливість оперативної передачі функцій одного підрядчика іншому, який, у свою чергу, має можливість скористатися результатами вже виконаної роботи. Така можливість особливо важлива для виробів тих, що мають тривалий життєвий цикл, коли необхідно забезпечити спадкоємність інформаційної підтримки продукту, незалежно від ринкової або політичної ситуації, що складається.

Переважну більшість сучасних систем автоматизованого проектування (Unigraphics, CADDs, Euclid, ProEngineer і ін.) підтримують роботу з даними у форматі STEP, крім того існує цілий ряд комерційних програмних продуктів, що забезпечують перетворення даних з різних форматів даних у формат STEP, що створює об'єктивні передумови для побудови інтегрованих інформаційних систем.

Традиційне паперове документування складних виробів у вигляді сотень томів вимагає величезних витрат на підтримку архівів, коректіровку документації, а також знижує експлуатаційну привабливість і конкурентоспроможність виробу, а сьогодні навіть вже утрудняє вихід на міжнародний ринок. Вирішення проблеми є в перекладі експлуатаційної документації на виріб, що поставляється споживачеві, в електронний вигляд. При цьому комплект електронною експлуатаційною документації слід розглядати як складову частину єдиної інтегрованої інформаційної моделі виробу.

Електронна документація може поставлятися на електронних носіях, таких як компакт-диски (CD-ROM) або розміщуватися в мережі Інтернет, де вона доступна з будь-якої точки миру.

Експлуатаційна документація може містити в собі інформацію різного типу, для представлення яких використовуються відповідні стандарти CALS: ISO 8879 (SGML), ISO 10744 (HyTime) і MIL-PRF-28001C - для текстової і мультимедійної інформації, MIL-PRF-28000A, MIL-PRF-28002C, MIL-PRF-28003A - для векторних і растрових графічних ілюстрацій.

Стандарти MIL-PRF-87268 і MIL-PRF-87269 визначають стиль, формат і технологію створення електронних довідників по виробам. Вживання стандартів гарантує можливість використання такої електронної документації на будь-яких комп'ютерних платформах.

В цілому структуру взаємодії між комп'ютерними системами на різних етапах життєвого циклу виробу можна умовно представити схемою, що приводиться на Рис. 1.

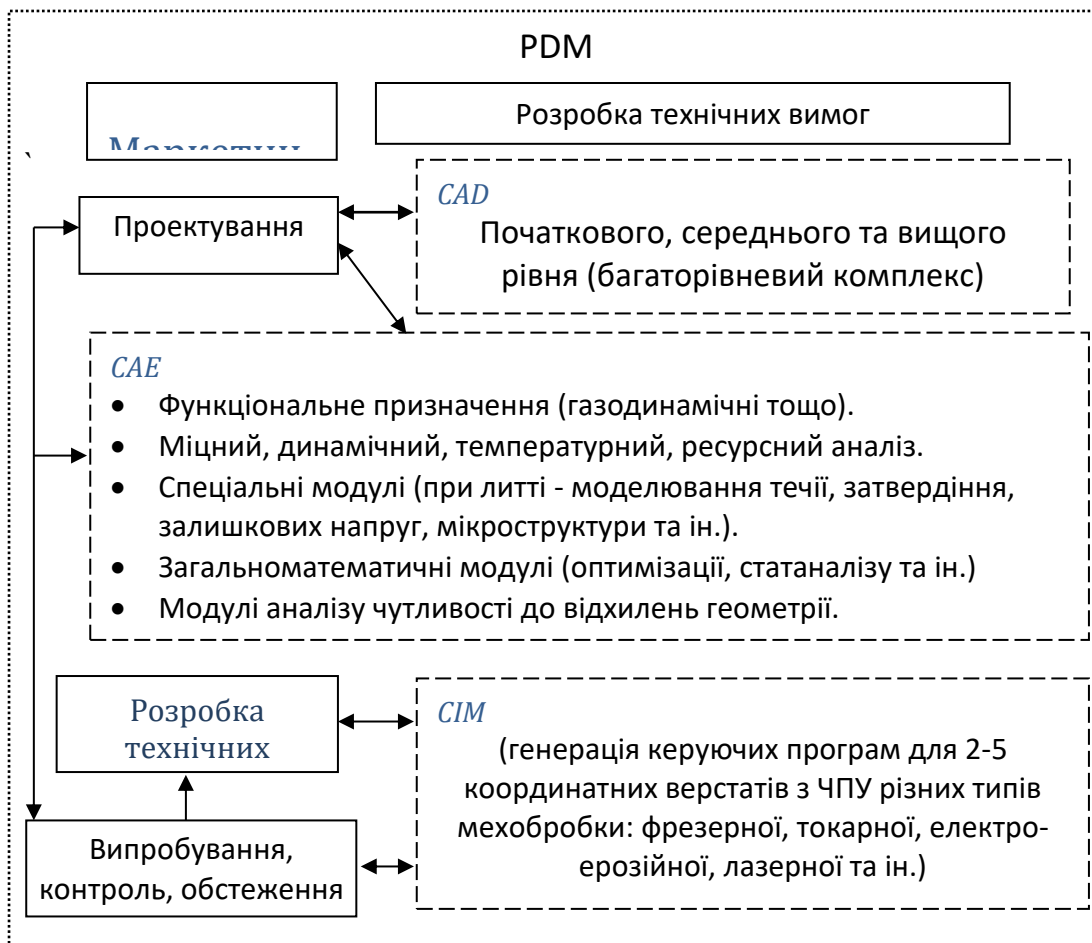


Рис. 1.

CAD/CAM/CAE для автоматизації проектування, аналізу і технологічної підготовки литих виробів машинобудування, для аналізу процесів литва і характеристик відливань.

Використання ЕОМ для автоматизації потреб ливарних виробництв почалося ще в 80-е роки. У колишньому СРСР комп'ютеризація ливарного виробництва і почалася з використання ЕОМ як засобу переробки інформації організаційно -техничної системи ливарного виробництва. Створювалися АСУП і АСУ ТП ливарного виробництва. Традиційне організаційне управління на рівні цеху або заводу, що реалізовується за допомогою АСУП вирішувало наступні завдання:

- розрахунок потреби галузі (цехи) у відливаннях на основі програми випуску продукції і норм витрати відливань на одиницю продукції;
- розрахунок обсягу виробництва відливань на основі оперативної оцінки виробничої потужності ливарних цехів галузі;
- аналіз фактичного виробництва і вжитку відливань за номенклатурними, технологічними і металургійними показниками;
- оптимізація планів кооперованих поставок відливань;
- об'ємно-номенклатурне планування.

На другому етапі комп'ютер планується використовувати для створення принципово нових рішень, якісно нових технологій, заснованих на використанні фізико-математичного моделювання ливарних процесів, формування відливань і їх якості у поєднанні з комп'ютерною обробкою моделей і інформації, оптимізацією технічних рішень. Для вирішення цих проблем створюються і використовуються САПР ЛП (ТП). Отримані САПР ЛП знижують трудомісткість і скорочують терміни проектування, об'єднують підсистеми інженерних розрахунків, документування і архівацію технічних процесів, підвищують якість технологічних рішень за рахунок оптимізації процесів. При проектуванні технології виготовлення відливання за допомогою ЕОМ вирішуються такі завдання як вибір вигляду форми, вибір положення форми при заливці і поверхні роз'єму, вибір типу системи ливника. Виділяють три рівні САПР ТП ливарного виробництва по мірі її участі в підготовці ливарних процесів:

- приймаються типові і групові проектні рішення;
- методологічною базою є математичні моделі ливарних процесів і чисельні методи їх рішення на ЕОМ;
- оптимізація проектних рішень здійснюється на стадії проектування технології.

Передбачалося в рамках САПТ ТП ЛП вирішувати завдання аналізу конструкції деталі, розрахунку і проектування технологічних елементів відливання і форми, визначення складу технологічних операцій і параметрів виробництва відливань з формуванням необхідної текстової і графічної документації.

Методики комп'ютерного моделювання планувалося реалізовувати у

вигляді алгоритмів з розгалуженою циклічною структурою, що забезпечує вирішення систем інтегральних рівнянь чисельними методами і виконання інших обчислювальних операцій. Ці методики повинні дозволяти отримувати ефективніші технологічні рішення, ніж використовувані у виробництві; скоротити трудомісткість підготовки вихідних даних, особливо по геометричних параметрах [39][44]. Методологія комп'ютерного проектування відливання для розрахунку процесів твердіння і живлення відливачів, описана в [45], дозволяє проектування більше 90% відливачів, у тому числі унікальних.

Вживання пакету прикладних програм дозволяє в 2-2,5 разу скоротити термін підготовки нових виробів за рахунок виключення з циклу тривалого і дорогого дослідного випробування і заміни його обчислювальним експериментом. Описана в [43] багатокритеріальна оптимізація процесу формування складу розплаву без проведення експерименту дозволила отримати область значень складових сплаву, при яких вірогідність здобуття відливачів, придатних за показниками якості, складає більше 75%.

Підвищення ефективності САПР ТП можливо із створенням систем комплексного управління технологічної підготовки виробництва, що включають проектування відливання, конструювання ливарного оснащення і управління її виготовленням (типа Cad/cam); створенням інтегрованих систем автоматизації проектування відливачів і управління технологічними процесами литва (або на базі їх продуктів, або на програмній базі).

Третім напрямом розвитку стали інформаційно-пошукові (експертні) системи [39] [41] [42]. Дуже важливі експертні системи для діагностики причин виникнення дефектів у відливаннях і визначення заходів для їх усунення. Ці системи мають бути засновані на вживанні статистичних методів управління якістю відливачів [40] [43]. Наголошується, що використання експертних систем при проектуванні унікальних (складних по конфігурації) відливачів приводить до зменшення економічних витрат, підвищення продуктивності праці, поліпшення якості проектів, збільшення міри типізації завдань технологічного проектування шляхом уніфікації проектних рішень.

Відомо, що 80-е роки були епохою етапу піонерського романтизму для систем САПР і АСОВІ. Не дивлячись на те, що в цей час на більшості крупних заводів почали з'являтися відділи і відділення САПР, перед якими стояло блага завдання "повної і остаточної" автоматизації діяльності ОКБ або підприємства (висів великий плакат "Система автоматизованого проектування ...", що складається з великої кількості блоків і стрілок), жоден з них не уникнув реорганізації.. Такий результат був об'єктивно вирішений наперед логікою розвитку САПР. Життя виявилось складнішим: формальні, погано продумані зв'язки не працювали, технічні засоби були не досконалі, засоби моделювання не могли адекватно відображати складні об'єкти проектування..

Не дивлячись на явне розчарування від результатів автоматизації «першої хвилі», її не вважають такою, що потерпіла фіаско. Методи автоматизації в

проектуванні і управлінні зайняли ту «екологічну» нішу, яка для них личила, - трудомісткі, але добре формалізовані завдання побудови зовнішніх поверхонь складних машинобудівних виробів, міцністні і розрахунки для спрощених моделей елементів, програмування верстатів з ЧПУ, а ледве пізніше і створення креслень. Така автоматизація отримала за кордоном назву "Point Application". Вона працює на обмеженому проектному просторі і була локалізована в рамках одного підрозділу, а інколи і окремого робочого місця.

Фактично, напрями використання ЕОМ 80-х років, що зароджуються, в ливарному виробництві, як і в цілому машинобудуванні, після ейфорії від очікуваної повної автоматизації заміни комп'ютером «людського чинника», що перейшла в песимістичні оцінки, з'явилися основою для розробки спеціалізованих програмних комплексів САЕ 90-х.

Питання першої групи (переробки інформації організаційно-технічної системи ливарного виробництва) відійшли до систем PDM і CAD. Експертні системи (третій напрям) влилися в CALS технології безперервної інформаційної підтримки життєвого циклу виробу і засновані на них системи забезпечення якості ливарної продукції.

Завдання другої групи продовжували активно розвиватися. Одним з найбільш прогресуючих і наукоємких сучасних напрямів при проектуванні і технологічному відробітку ливарних процесів стало моделювання фізики, лежачої в основі процесу для повної Brep моделі виливка і ливарної форми, максимально наближену до реальності. Мета цього - визначити найбільш важливі параметри процесу і управляти ними, отримуючи при цьому значний прибуток.

Якщо процес заповнення і твердіння порожнини форми правильно промодельовані, можуть бути передбачені усадкові порожнечі і інші дефекти відливання. Може бути промодельовано вплив на перебіг рідкого металу і твердіння методу заливки/питання або інших змінних процесу. Кількість випробувальних заливок рідкого металу може бути значно зменшене і використане в основному для підтвердження концепції.

Існують три основні типи інструментів комп'ютерного моделювання:

- емпіричні програми, що ґрунтуються на експериментальних результатах і досвіді;
- напівемпіричні програми, що ґрунтуються на експериментальних результатах на додаток до основної фізики;
- моделюючі програми, засновані на принципах фізики, які вимагають складної математики і точних теплофізичних даних матеріалів.

Мета моделювання заповнення і твердіння відливання це:

- передбачити вплив дизайну литників/метода відливання на турбулентність;
- передбачити захват оксидів і інших дефектів, пов'язаних з течією;
- забезпечити температурні профілі в течію і в кінці заповнення для точнішого аналізу твердіння;

- передбачити картину твердіння, позначаючи де можуть виникнути усадкові порожнини і зв'язані дефекти;
- передбачити інші дефекти твердіння (такі як гарячі тріщини);
- передбачити часи твердіння; передбачити мікроструктуру перетинів відливання (таку як сегрегація);
- передбачити напруження/деформації.

Заповнення форми може бути передбачене з використанням моделюючих програм. У основі цих програм лежить вживання рівнянь перебігу Новьє-Стокса з моделлю турбулентності з двох рівнянь. Воно обчислюється для всіх параметрів, що відносяться до перебігу (таких як в'язкість, тертя, число Рейнольдса і так далі) у всіх просторових мірах свободи. Рівняння безперервності і збереження моменту і енергії утворюють основу цих алгоритмів. Це наближення точне і перевірено часом в аерокосмічній промисловості.

Твердіння відливання можна передбачити з використанням, як підлозі емпіричних програм, так і моделюючих програм. Відмінності, переваги і недоліки кожного з цих наближень наступні.

Прості емпіричні програми можуть лише моделювати прості, повторювані процеси, де змінні процесу лише злегка змінюються. Передбачення дефектів з простого емпіричного аналізу, схоже, може бути помилковим. Напівемпіричні програми можуть ефективно моделювати відносно прості ливарні процеси. Змінні процесу повинні мати обмежені відомі ряди значень, і фізика має бути простою і відкритою. Приклад такої ситуації це характеристики твердіння стали для простих форм, і в цьому випадку, напівемпіричні програми можуть забезпечити точні передбачення дефектів.

Моделюючі програми можуть моделювати прості або складні процеси. Фізика процесу може бути складною, змінні процесу можуть сильно змінюватися, і можуть бути проаналізовані нові процеси. Це наближення добре личить для передбачень твердіння для всіх типів металів.

Моделюючі програми зазвичай застосовують швидке перетворення Фур'є для вирішення 3D рівнянь теплопереносу. Також розраховуються конвективні потоки тепла, що важливе, для великих перетинів відливання. Детальні теплофізичні дані матеріалів дозволяють застосувати до всього процесу рівняння провідності, перенесення тепла конвекцією і випромінюванням. Розрахункові програми дозволяють зробити передбачення температури в будь-якому місці і у будь-який час процесу. Час твердіння, пористість, утворення усадкової раковини, сегрегація сплаву і профілі напруження/деформації також можуть бути передбачені.

Провідні ливарні заводи щодня збільшують використання інструментів комп'ютерного моделювання. Ливарні заводи можуть застосовувати різні рівні комп'ютерного моделювання в той або інший час для оптимізації ливарних процесів. Наприклад, емпірична програма використовується для оцінки вимог методу. Полу емпірична програма використовується для швидкої перевірки методу і для подальшої оптимізації процесу. Нарешті, що моделюють програми

можуть бути, потім використані для оцінки характеристик заповнення і забезпечення детальнішого аналізу методу і процесу литва. На додаток, що моделюють програми також використовуються для оцінки нового процесу або дуже складного дизайну.

У ідеалі, використання комп'ютерного моделювання дозволяє ливарному заводу зменшити турбулентність і дефекти рідкої течії. На додаток до цього оптимізуються розмір прибули, її місцезнаходження, зміни ливників і орієнтація відливання, що веде до збільшення виходу придатної продукції. Вартість оптимізованого процесу литва значно зменшується.

І комп'ютерні hardware і software технології просуваються в темпі, що збільшується, і зараз можливе те, що було неможливе пару років назад. Нижче зроблений огляд існуючого програмного забезпечення по комп'ютерному моделюванню ливарних процесів. Кожен опис включає успішну історію, як конкретна програма оптимізувала операцію литва ливарного заводу.

MAGMASOFT

Magma Foundry Technologies, Inc. (USA), website: <http://www.magmasoft.com>

Метод: Кінцеві різниці.

Особливості: Моделювання з врахуванням властивостей конкретного сплаву, включаючи калібрацію.

Сфера застосування: Литво в піщану форму, оболонкове литво, моделі, що виплавляються, під тиском.

Платформи: windowsnt.

Кількість інсталяцій: Более 350, включаючи Grede Foundries, Milwaukee; Waupaca Foundry, Waupaca, Wisconsin; and Atchison Casting Corp., Atchison, Kansas.

Дослідне тестування: St. Cloud Foundry (Grede Foundries, Inc.) і St. Cloud, Minnesota, сталкнулись з проблемами здобуття хорошого направленого твердіння в чавунній маточині. Проблема була наслідком конструкції системи ливника і використання чавуну з кулевидним графітом. Хоча використання Magmasoft і інструменти передбачення специфічні для чавуну, ливарний завод дістав можливість візуалізувати проблему пористості і знайти краще рішення.

Засоби моделювання також допомогли ливарному заводу передбачити механічні властивості чавуну для узгодженості в твердості і міцності.

PROCAST

UES Software, Inc. (USA, Ohio)? website: <http://ues-software.com>

Метод: Кінцеві елементи.

Особливості: Облік випромінювання для литва по моделях, що виплавляються, база даних теплофізичних властивостей, мікромоделювання, напруга і деформація, і автоматичне нанесення сітки.

Сфера застосування: Піщані форми, оболонки, моделі, що виплавляються, литво під тиском, постійна форма і випалювані моделі (lost foam).

Платформи: windowsnt and UNIX.

Кількість інсталяцій: 150, включаючи Tool Products, Minneapolis; Gould Pumps, Ashland, Pennsylvania; and Howmet Corp., Whitehall, Michigan.

Дослідне тестування: Eagle Alloy, Inc., Muskegon, Michigan, моделювала відливання для залізничного транспорту. Критичними параметрами були точність відливання і її довговічність.

"Унаслідок того, що ми хотіли мінімізувати процес виготовлення деталей, ми вибрали 100% CNC механообробку, що більш ніж подвоїло вартість виготовлення", сказав Jim Smith, Eagle Alloy інженерний керівник. Нам було поважно, щоб перший час процес виготовлення працював правильно. Після того, як перші зразки були зроблені Ми не хотіли інвестувати час і гроші в зразки лише для того, щоб отримати інформацію про те, що нам потрібні деякі зміни що зберігають час і гроші." продовжив Smith.

Ливарний завод застосовував software моделювання, для того, щоб уникнути такого сценарію. Використовуючи PROCAST, інженер розробник визначив великі усадкові пористості у відливанні. При роботі з інженерами конструкторами покупця, рішення було швидко запропоноване і знову промодельовано з PROCAST. Результат висвітив, що нова конструкція системи ливника могла б провести міцні відливання. Перші зразки виробу були проглянуто в X-променях і показали відсутність дефектів. Цей швидкий зворот від первинної конструкції до кінцевої і відповідно до вимог специфікаціями деталі приніс чистого доходу більш \$ 250, 000 в річних продажах.

AFS SOLIDIFICATION SYSTEM(3-D)

American Foundrymen's Society, Inc. (USA, Illinois),

website: <http://www.afsinc.org>

Метод: Кінцеві різниці.

Особливості Software: Об'єднані теплові і об'ємні розрахунки забезпечують точні передбачення усадковій пористості. Сканування відливання і показ слайдів забезпечують результати в X-променях і анімаційних результатах, які можна проглянути без спеціального для перегляду.

Сфера застосування: Піщані, оболонкові, такі, що виплавляються моделі і постійні форми.

Платформа: PC.

Кількість інсталяцій: Більше 330, включаючи Prospect Foundry, Minneapolis; Bimac Corp., Dayton, Ohio; and Stahl Specialty Co., Kingsville, Missouri.

Дослідне тестування: Сталева заготовка для харчо обробної промисловості проводилася Bimac Corp литвом по моделях, що виплавлялися, Ливарний завод провів три воскові зразки шляхом швидкого прототипування. Перші два були оснащені з використанням звичайних методів, але вони не дозволили отримати міцне відливання. Використання моделювання для

допомоги в конструюванні системи (було виконано 12 моделювань для тестування різних опцій) ливника не показали значного поліпшення.

Конструкторська команда потім провела деякий мозковий штурм в надії здобуття правильної конструкції системи ливника. Схема з прибутком зверху обговорювалася, як можлива альтернатива. Цей підхід був промодельовано, і результати показали, що відливання може бути виконана в такий спосіб. Остаточний зразок був виготовлений згідно з результатами моделювання. Внаслідок чого було отримано міцне відливання.

Ця деталь була новим виробом, який ливарний завод прагнув опанувати. Моделювання допомогло йому претендувати на успіх в роботі, і забезпечило \$500,000 в рік в новому бізнесі для ливарного заводу.

FLOW-3D

Flow Science, Inc. (New Mexico) Website:<http://www.flow3d.com>

Метод: Контрольний об'єм і кінцеві різниці.

Особливості: Моделювання вільної поверхні, геометричне впровадження з методом Favor і вільне нанесення сітки.

Сфера застосування: Литво в піщану форму, литво під тиском, постійна форма, випалювані моделі (lost foam), продування піщаних стрижнів, заливка похилої, відцентрове відливання.

Платформи:sgi, Sun, DEC, HP, IBM and Windows.

Кількість інсталяцій:90, включаючи General Motors, Saginaw, Michigan; Alcoa, New Kensington, Pennsylvania; and Kolbenschmidt Aluminium Technologie AG, Neckarsulm, Germany.

Дослідне тестування: Werkzeugbau Schaufler, виробник відливань під тиском з Laichingen(Germany), використовує FLOW-3D для підтвердження правильності конструкції форм. З вимогами, що посилюються, на міцність відливань для автомобільної промисловості вироблюваних литвом під тиском, поважно, щоб захват повітря при заповненні металевої форми, при високій швидкості був мінімальним. Інженери Schaufler сконструювали правильну литниково-живильну систему і порожнину кокілю виконавши декілька моделювань заповнення з одночасним тепло-переносом.

Литниково/живильна система для магнієвого вхідного колектора шестициліндрового двигуна вироблюваного Kolbenschmidt Pierburg AG для Daimler -Benz, Stuttgart (Німеччина) була приватною областю, яка потребувала уваги Schaufler. З товщиною стінок менше 2 мм, дуже поважно, щоб картина заповнення була гладкій і збалансованій з мінімальним розривом рідині і захватом повітря. Результати моделювання виявили значне розділення течії в системі ливника і показали, що метал прибув на ливники в різний час, що небажано. Зміни були зроблені на ливниках для ефективнішої живлячої системи.

Загалом, чотири металеві кокілі були зроблені для виробництва різних компонент повного колектора. Kolbenschmidt Pierburg AG отримала Конструкторську

винагороду 1998 від Міжнародної Магнієвої Асоціації за результуюче відливання.

SIMTEC

Simtec, Inc. (USA, Michigan), website: <http://www.simtec-inc.com>

Метод: Кінцеві елементи.

Особливості: Моделювання течії, твердіння, напруги, мікроструктури.

Сфера застосування: Пісок, оболонка, литво по моделях, що виплавляються, литво під тиском, постійна форма, заливка похилої, випалювані моделі (lost foam), безперервна литво, відцентрове литво.

Платформи: unix, Windows and Linux.

Кількість інсталляцій: 150, включаючи Newport News Shipbuilding, Newport News, Virginia; Thyssen, Essen, Germany; and Progress Casting, Plymouth, Minnesota.

Дослідне тестування: Caterpillar, Inc., Peoria, Illinois, зіткнулися з проблемами з противагою для їх Екскаватора, відлитого Kurdziel Industries, Muskegon, Michigan. Відливання з сірого чавуну, вагою 17, 000 фунтів і 9 футів завдовжки ставала деформованою після видалення з форми і як результат не відповідала Caterpillar друкарським специфікаціям ± 6 mills. Це створило масу проблем при підгонці відливання. Корінні причини, певні Simtec з використанням аналізу кінцевих елементів, показали, що час витягування кришки форми був передчасним. Коли кришка віддалялася, відливання ще не досягло температури відпалу, і наявність сполучних каналів вихідних отворів великого діаметру вносила вклад до проблеми. Навіть без зіткнення кришки з чим-небудь, висока залишкова напруга мала тенденцію викликати деформацію. Це прямий результат верхне-направленого охолодження, конфронтуючого зі все ще гарячим піском з дна відливання.

При моделюванні видалення кришки при 24, 48, 72, і 96 годинах, було виявлено, що раннє витягування кришки було прямим сприяючим чинником в деформації, що виходить на практиці. Simtec зміг показати оптимальну зміну форми прибутків (вихідних отворів), продемонструвати, що сполучні канали були непотрібними доповненнями до відливання, і встановити оптимальний час для відкриття кришки і для витягування відливання.

Simtec зараз застосовується для визначення і ідентифікації критичних параметрів процесу і забезпечення результатами що дають інформацію про можливість зневаги цими параметрами. Warpage відливання був зменшений на 73% і більшість відливань були виготовлені в межах допустимої толерантності специфікацій.

NOVAFLOW & SOLID

NovaCast AB (Sweden), Website: <http://www.novacast.se>

Метод: Кінцеві різниці.

Особливості: просунуті алгоритми, які враховують гравітацію і перебіг під час заповнення форми і твердіння.

Сфера застосування: Литво в піщану форму, литво під тиском, постійна форма, випалювані моделі (lost foam), литве в оболонки.

Платформи: windows.

Кількість інсталляцій: 102, включаючи Liberty Foundry (Grede Foundries, Inc.), Wauwatosa, Wisconsin; Urick Foundry Co., Erie, Pennsylvania; and Mansfield Foundry Corp. (Citation Co.), Mansfield, Ohio.

Дослідне тестування: Для Nya Kohlswa Gjuteri AB (Sweden), основними цілями було досліджувати можливі способи зменшення швидкості скрапу, викликаної тріщинами і включеннями, збільшення виходу і, якщо можливо зменшити час, використовуваний для очищення і остаточної обробки. З вагою заливки 940 кг і виходом лише 51 %, був широкий простір для поліпшення. Було промодельовано відливання з низько легованої вуглецевої сталі. Для мінімізації тенденції до турбулентності система ливника була вибрана таких розмірів, щоб швидкість течії була 500 мм/сек.

Початкові вивчення і розрахунки виявили, що двох живильників замість початкових п'яти може бути вистачає для живлення всього відливання. Необхідно було виконати моделювання, щоб оцінити правильність цього припущення. Течія і моделювання твердіння була виконана на Pentium II 450 256 Mb RAM WINDOWSNT. Використовувалася сітка з 2.5 мільйонів вузлів, час, що було потрібно для моделювання було 5.5 годин і моделювання твердіння зайняло 30 хвилин. Моделювання висвітило прекрасне, легке і однорідне заповнення відливання. Картина твердіння і передбачення усадки показали, що використання лише двох живильників найімовірніше і повинно працювати.

Новий дизайн системи ливника і прибутків був протестований на ливарному заводі, і привів в результаті до ваги заливки 725 кг і 67% виходу. Область очищення і час обробки були зменшені на 2.5 часа/отливка, і два екзотермічні рукави використовувалися замість п'яти.

CASTCAE

CT-Castech, Inc. Oy (CASTech, Inc.) Website: <http://www.castech.fi>

Метод: Розраховується заповнення і твердіння (передбачення недоливу, дефектів і твердості), кінцеві різниці, контрольний об'єм і повний Новьє-стокс.

Особливості: просунуте моделювання чавуну, екзотермічна модель, візуалізація в Рентгенівських променях і промислово контрольовані розрахунки заповнення (відео результати експерименту доступні), результати в QuickTime файлах (результати моделювання можна проглянути без software моделювання)

Сфера застосування: Литво в піщані форми; оболонкові форми; литво по моделях, що виплавляються, литво під тиском, в кокіль.

Платформи: windows, MACOS, Linux and UNIX.

Кількість інсталяцій: Приблизно 30, включаючи Gidding & Levis Casting Technology, Menominee, Michigan; Sparta Foundry (Kurdziel Industries, Inc.), Sparta, Michigan; і Ellwood Engineered Casting Co., Hubbard, Ohio.

Дослідне тестування: Sparta Foundry, Inc. використовує вертикально розділений процес у формувальній суміші для литва роликів кілець (ободів) з сірого чавуну. Після зіткнення з деякими проблемами, ливарний завод скористався CASTCAE. Моделювання виявило, що ливники працюють неправильно, і розподіл тиску приводив до того, що в нижній частині заповнення відбувається дуже швидко. У верхній частині заповнення йде повільно і розплав пульсував в ливниках, викликаючи швидке охолодження. Це приводило в результаті до змішування рідкого і твердого металу, вело до поверхневих проблем. В кінці заповнення, до заповнення останніх частин, схоже, був ризик тріщин, відливань, що утворюються зверху, на верхній частині. Також деяка усадка передбачалася усередині відливань.

Було виявлено, що передбачення добре відповідають реальній ситуації. Ливарний завод мав проблеми з поганою якістю поверхні на багатьох кільцях, наявністю усадки, що з'являється усередині кілець в передбачених положеннях. Все це було виявлено при машинній обробці. Моделювання показало причину проблеми і, ґрунтуючись на цій інформації, інженери ливарники переконструювали систему ливника, так що всі частини могли б заповнюватися одночасно. Після зміни, швидкість утворення браку значно знизилася. Інженери ливарники прокоментували, що причина проблем, які вони мали з деталлю була загадкою до тих пір, поки моделювання не показало, що відбувається насправді.

EKK METAL CASTING SIMULATION SOFTWARE

EKK, Inc. (USA, Michigan) website:<http://ic.net/~ekk>

Метод: Кінцеві елементи.

Особливості: Акуратно, швидко, ефективно.

Сфера застосування: Все

Платформи:linux, IRIX (SGI) and HP/UX (HP).

Кількість інсталяцій: 18, включаючи Hayes-Lemmerz, Romulus, Michigan; Madison-Kipp, Madison, Wisconsin; і GM Powertrain, Defiance, Ohio.

Дослідне тестування: Диференціальний передавальний кронштейн аналізувався для Bohn Aluminum Corp. (Citation Co.), Butler, Indiana. Алюмінієве відливання мало бути зроблена дозаливкою в постійну форму карусельним литвом без тиску. Ця робота виконана на ранніх етапах інструментального дизайну для максимального прибутку. Після 2 тижнів конструювання моделі, була виконана серія моделювань на безлічі інструментів і варіантів процесу.

Сімнадцять варіантів було промодельовано приблизно за 3 тижні. Процес був відпрацьований, так що можна було б робити хороші деталі, але деякі проблеми залишилися. Після початкової інструментальної перевірки і додаткових

моделювань, зміни конструкції виробу були запропоновані кінцевому покупцеві. Переглядаючи моделювання і тестуючи зроблену роботу, покупець вирішив зміни не дивлячись на додавання деякої маси для підтримки якості відливання.

Окрім спеціалізованих CAE ливарних процесів, подібні завдання вирішують спеціалізовані модулі як «важких» систем (Unigraphics, Pro/Engineer, Euclid і так далі) CAD, так і найбільш розвинені універсальні CAE-комплекси (ANSYS, NASTRAN і ін.). Так один з модулів системи Unigraphics (UG/MF-Flowcheck - Аналіз заповнення ливарної форми) призначений для аналізу параметрів пластмасової деталі, що виготовляється. Розроблений фірмою Moldflow і інтегрований з Unigraphics, модуль UG/MF-Flowcheck прогнозує утворення поверхневих дефектів, таких, як лінії стику і повітряні каверни, можливість заповнення форми вибраною пластмасою, об'єм матеріалу, а також автоматично визначає оптимальні параметри процесу, використовуються два типи неньютонових, неізометричних аналізів: 1) розглядаються механізми поведінки пластмаси і розподілу тепла; Це особливо поважно для деталей з неравномерної товщиною стінок. 2) визначає заповнювану форми, тобто чи вийде деталь в принципі.

Pro/Engineer дозволяє асоціативно передати тривимірну модель литої деталі в технологічний модуль проектування оснащення по її виготовленню (прес-форми), автоматично згенерувати формотворні поверхні прес-форми, проаналізувати ливарні процеси, а потім повністю спроектувати оснащення [Н 27]. Моделювання фазового переходу при охолодженні можливо і в одному з лідируючих «важких» конечно-елементних комплексів CAE «ANSYS» (ANSYS, Inc.).

Огляд наявних пакетів моделювання твердіння показує, як просунулася технологія для забезпечення міцних економічних відливів.

1.3. Принципи і структура побудови автоматизованої системи аналізу і управління якістю відливів для дизелебудування.

Економічний ефект від впровадження від автоматизованої системи проектування, підготовки і супроводу виробництва на ливарному підприємстві можливо отримати за рахунок:

- 1) Підвищення конкурентоспроможності підприємства - готовності виконати замовлення на виробництво розширеного асортименту за короткий строк з підвищеною якістю, тобто за рахунок розширення номенклатури виконуваних замовлень (включення в замовлення геометрично складних виробів).
- 2) Зниження часу проектування, перепроектування на традиційну номенклатуру виробів за рахунок :
 - автоматизації генерації креслярської документації;
 - виключення етапу креслярської документації при виготовленні (сполучення верстатів з ЧПУ з САМ системами);

- скорочення (а потім і повне виключення) етапу доведення прес-форм для здобуття відливання із заданими властивостями (наприклад, відливання поршня із заданою вагою)
- 3) Підвищення якості проектування і виготовлення за рахунок:
 - моделювання процесу механічної обробки;
 - моделювання збірки оснащення і виробу;
 - моделювання процесу фазового переходу, охолодження і усадки;
 - можливість точного опису складних геометричних поверхонь (а не уручну як зараз) і їх автоматичної механічної обробки.
- 4) Вчення і самонавчання персоналу і підвищення готовності підприємства до роботи в умовах високої конкуренції, завантаженості
- 5) Збереження і накопичення формалізованого досвіду в базах знань, створення на їх основі експертних систем.

Створення автоматизованої системи підготовки і управління ливарним виробництвом, як і всякій іншій АСОВІ ТП, повинне розглядається як багатоетапний процес, вміщуючий підетапи:

1. Визначається функціональна структура.
2. Затверджуються документи які будуть на вході і виході будь-якого технологічного ланцюжка.
3. Визначаються методики, що дозволяють автоматизувати працю кожного конкретного фахівця.
4. Формуються технічні завдання на створення спеціалізованих автоматизованих робочих місць і створюються програмно-методичні комплекси, які об'єднуються в єдину проектуючу середу.
5. Складається план поетапного впровадження.
6. Виділення засобів (програмно-апаратного забезпечення) на реалізацію проекту.

Методична інтеграція розглядається як початковий етап робіт із створення інтегрованої системи. Інформаційна, технічна і програмна інтеграція здійснюється відповідно до цілей і завдань методичної інтеграції. Створення інтегрованої системи проектування в простому варіанті може розглядатися як закупівля і установка комп'ютерів і периферії, установка програмного забезпечення, і об'єднання їх в мережу.

Як програмне забезпечення для підготовки виробництва в ідеальному випадку повинен використовуватися комплекс систем з трьох рівнів.

- ◆ Систему нижнього рівня пропонується використовувати для автоматизації випуску документації (креслень деталей, креслень 2 порядки, технології) і програмування 2,5-осевой ЧПУ - обробки “по електронному кресленню” . Розроблюються креслення саме з тими необхідними параметрами (розмірами) які необхідні для виготовлення виробу (Зазвичай креслення виготовлені в програмах типа “БАЗИС” рясніють всілякими розмірами у той час коли ці

розміри формуються програмою, що управляє, ЧПУ і немає необхідності їх повторювати). Але найбільш відповідальні деталі повинні спочатку формуватися в твердотілому вигляді в системах середнього рівня і мати двонаправлений асоціативний зв'язок з кресленням.

- Система середнього рівня дозволяє створити об'ємну модель виробу, по якій пропонується визначати масові, прочностные та інші характеристики, моделюються всі види ЧПУ - обробки, контролюється собираемость і випускається документація (складальні креслення, технологічна документація). Економічний ефект – в підвищенні продуктивності праці при скороченні помилок і відповідно витрат на доведення виробу.
- Система вищого рівня дають можливість конструювати деталі з контролем технологічності і обліком особливостей матеріалу, проводити особливо складні складки і динамічний аналіз збірки з імітацією складальних пристосувань і інструменту, проектувати оснащення з моделюванням технологічних процесів (штампування, литва), що виключає брак і значно зменшує витрати і час на підготовку виробництва виробу.

Виводи

Боротьба за якість виробів набуває характеру важливого завдання для країни, що визначає можливість економічного зростання, конкурентоспособности національної економіки на світовому ринку.

Якість закладається і реалізується на кожному з 11 етапів життєвого циклу виробу. Основна складова кінцевої якості (верхня межа) закладається на етапі проектування. Виробник, не впроваджувальний у виробництво останні досягнення науки і техніки, як правило, проводить морально застарілу продукцію, яка не знаходить збуту на ринку. Посилювання вимог світового ринку змушує виробників продукції створювати досконаліші зразки на основі винаходів, науково-технічних рішень і комп'ютерних інтегрованих технологій, що відповідають вимогам і запитам покупців.

Системне управління якістю в сучасних умовах є основним способом створення конкурентоздатної продукції. Формальне створення лише документованої системи неефективно без обґрунтування її необхідності, глибокого аналізу складових якості.

Системний підхід передбачає розгляд литої деталі як елементу механічної системи, вивчення умов функціонування литої деталі в механізмі з подальшим формулюванням обґрунтованих вимог до відливання.

Якість продукції є дзеркало науково-технічного прогресу. Як би абсолютно не був проведений етап маркетингу, при найдосконаліших методах контролю під час виробництва, якщо на етапі проектування не буде знайдена найбільш прогресивна, передова в науково-технічному сенсі конструкція, що відповідає вимогам і запитам ринку, то виробництво морально застарілої продукції не знайде збуту на ринку.

Як наголошувалося, основними, широко використовуваними, методами оцінки одиничних показників якості на етапі проектування є експериментальні і розрахункові методи. Експериментальні методи хороші тим, що для основних функціональних показників завжди доступні не дивлячись на високу складність і недостатньо вивчену оцінюваної системи. До того ж практика (експеримент - практична перевірка, обмежена в часі) як «критерій істини» особливо неоцінимо для перевірки складних відповідальних виробів. В той же час експериментальні методи мають і ряд недоліків. Це пов'язано частенько з високою вартістю проведення повних (репрезентативних) експериментальних досліджень. Якщо експериментальне дослідження приводить до руйнування або втрати функціональності виробу, то недоцільно охопити ними 100% виробів, отже вони є вибірково статистичними. Встановлюючи по ним імовірнісна закономірність між оцінюваними показниками якості і первинними чинниками не завжди може якісно пояснити фізичний сенс процесів, вказати на найбільш чутливі параметри для підвищення показників якості.

- за рахунок переходу від випуску «плоских» креслень на папері до створення тривимірних моделей виробів;
- твердотіла модель відкриває унікальні можливості для підготовки виробництва, так досягнуто п'ятикратне поліпшення в точності обробки поверхонь і в чотири - шість разів скорочений час програмування верстатів ЧПУ.);
- підвищення якості виготовлення виробів (за рахунок можливості ефективного аналізу створюваних виробів, простого доступу до всієї необхідної інформації, потужних засобів візуалізації створюваних моделей виробів);
- організацію безперервного циклу проектування і виготовлення виробу, а також створення системи достовірного обліку, контролю і управління проектними ресурсами і термінами виконання етапів (за рахунок вбудованих засобів автоматизованого управління процесом проектування);
- можливість оптимального вибору економічно вигідних стандартних комплектуючих виробів (за рахунок використання готових баз даних постачальників устаткування і параметричних бібліотек стандартних елементів)
- підвищення конкурентоспроможності продукції, що випускається (за рахунок можливості оперативної розробки виробів різної номенклатури високоякісних виробів відповідно до вимог ринку);
- значну економію засобів при створенні нових виробів силами співробітників Вашої фірми (за рахунок відмови від послуг сторонніх організацій при проектуванні нових виробів, виключення помилок і скорочення об'єму поточних змін, супутніх будь-якому процесу проектування);

- виключення помилок і скорочення об'єму поточних змін, супутніх будь-якому процесу проектування (за рахунок відмінних можливостей візуалізації проєктованого виробу, вбудованих засобів перевірки взаємного просторового пересічення деталей, використання перевірених типових рішень, виключення дублювання інформації);
- підвищення іміджу фірми, якості і престижу праці проєктувальника (за рахунок автоматизації виконання монотонних однотипних операцій, підвищення акуратності і точності виконаних робіт);
- обґрунтування вибору матеріалу і величини витрат на використовувані у виробі матеріали, відмову від створення масштабних макетів виробів (за рахунок вбудованих засобів перевірки прочностних характеристик виробів по створених моделях);
- впровадження сучасних технологій (за рахунок використання тривимірних моделей виробів при підготовці даних для робототехнічних комплексів, верстатів з числовим програмним забезпеченням і автоматичних ліній).

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання
практичних занять та самостійної роботи студентів
з навчальної дисципліни
«Інженерне моделювання технологічних процесів»
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю G10 Металургія
Українською мовою

Видання перше, перероблене й доповнене

Укладач
АКИМОВ Олег Вікторович

Відповідальний за випуск
Роботу до видання рекомендувала

проф. Дьомін Д. О.
проф. Пономаренко О. І.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 681

Підп. до друку 2025 р. Гарнітура Times New Roman
Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від
21.08.2017 р.

Електронна версія

