МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка режиму прокатування штаби 0,8х1280мм зі сталі 08кп за різними швидкостями прокатування на стані холодної прокатки з метою підвищення продуктивності стану**

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1362-омт-с
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Обробка металів тиском
(код і назва освітньої програми)
В.Д. Савельєв
(ініціали та прізвище)

Керівник
доц. каф. МТЕТБ,доц., к.т.н. Ю.В. Бондаренко

Рецензент
доц. каф. МТЕТБ, доц,к.т.н. О.С.Воденнікова

Запоріжжя – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)рівень
Спеціальність 136«Металургія»
(код та назва)
Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Бєлоконь

“ 23 ” 12 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Савельєв Владислав Данилович
(прізвище, ім’я, по батькові)

Тема роботи (проекту) **Розробка режиму прокатування штаби 0,8х1280мм зі сталі 08кп за різними швидкостями прокатування на стані холодної прокатки з метою підвищення продуктивності стану**

керівник роботи (проекту) Бондаренко Юлія Володимирівна, к.т.н., доц.,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “23” 12 25 р. № 1831-с

1. Строк подання студентом роботи 10 червня 2026 року

2. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація , літературні джерела, інтернет-ресурси

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел

Мета кваліфікаційної роботи – розробка режиму прокатування штаби 0,8х1280мм із сталі 08кп на стані холодного прокатування 1680

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація виконана в програмі Power Point на 11 слайдах.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Бондаренко Ю.В., доц. каф. МТЕТБ	

6. Дата видачі завдання 20.01.2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	26.01.26 – 13.03.26	
2.	Розділи 2 - 3	16.03.26 – 17.04.26	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	20.04.26 – 22.05.26	

Студент _____ **Савельєв В.Д.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Бондаренко Ю.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ **Бєлоконь Ю.О.**
(підпис) (прізвище та ініціал

Реферат

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: _66_ с., _28_ рис., _6_ табл.; використано літературних джерела _13_.

Об'єкт дослідження – стан холодної прокатки 1680 в умовах ЦХП ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – розробка режиму прокатування штаби 0,8х1280мм із сталі 08кп на стані холодного прокатування 1680.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків, які використовуються в прокатному виробництві. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020, використання комп'ютерних програм Mathcad Prime 6, Excel 2019.

Отримані результати і їх новизна – встановлено, що продуктивність і економічність прокатного стана підвищується разом з підвищенням швидкості прокатки і маси рулонів тільки до деякої межі. Подальше підвищення цих параметрів, забезпечуючи деяке зростання продуктивності стана, робить його експлуатацію неекономічною, оскільки темпи зростання капітальних і експлуатаційних витрат випереджають темпи зростання продуктивності стана.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на неперервному стані холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» з метою підвищення продуктивності і техніко – економічних показників виробництва.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, НАПРУЖЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, СТАН, КЛІТЬ, ПРОКАТНІ ВАЛКИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ СТАНА.

ЗМІСТ

с.

ВСТУП ……..……..….... 6

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА …….… 8

1.1 Технологічний процес прокатки штаб в умовах ЦХП ПАТ «Запоріжсталь» ……... 8

1.2 Опис конструкцій і роботи основного устаткування ЦХП-1 ….. 11

1.3 Аналіз параметрів режиму деформації на НСХП 1680 ……... 18

1.4 Стани нескінченної прокатки 20

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА……25

2.1 Дослідження і розрахунок енергосилових параметрів при холодному прокатуванні тонких штаб ……...25

2.1.1 Розрахунок контактних напружень ……...25

2.1.2 Осередок деформації ……..30

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА ……....38

Розрахунок валків листопрокатних станів на міцність і деформацію в середовищі AutoCAD Mechanical …….…...……... 38

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА……..56

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища ……56

4.2 Розрахунок виробничої програми прокатного стану ……60

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ …….……...64

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ……..65

ВСТУП

Значне розширення виробництва і необхідність зростання якості тонколистового холоднокатаного металу вимагають удосконалення існуючих і створення нових високопродуктивних та економічних широкоштабових станів холодної прокатки.

Найважливішими параметрами широкоштабового стана холодної прокатки є швидкість прокатки, маса рулонів, що прокатуються а також рівень механізації та автоматизації процесу прокатки [1, 2].

Продуктивність і економічність прокатного стана підвищується разом з зростанням швидкості прокатки і маси рулонів тільки до деякої межі. Подальше зростання цих параметрів, забезпечуючи деяке зростання продуктивності стана, робить його експлуатацію неекономічною, оскільки темпи зростання капітальних і експлуатаційних витрат випереджають темпи зростання продуктивності стана.

Унаслідок цього при проектуванні нового обладнання велике значення має економічний аналіз технічних параметрів, що приймаються, для станів, що створюються і визначення економічних меж їх зростання.

Тип прокатного стана і схема технологічного процесу, як правило, визначаються сортаментом і заданою продуктивністю, а швидкість прокатки і масу рулону вибирають звичайно на основі прикидочних розрахунків. Потім за допомогою економічного розрахунку визначають ефективність вибраних вихідних даних. Цей звичайний шлях вибору, незважаючи на накопичений досвід, часто буває недостатньо об’єктивним, оскільки не може врахувати складної залежності і взаємодії усіх параметрів прокатного стана і процесу прокатки. Тому обрані дані не завжди забезпечують отримання максимально можливої продуктивності і найкращих техніко-економічних показників роботи обладнання.

Для зростання якості продукції прокатники у всьому світі, перш за все в Японії, Німеччині, США, а також в країнах Латинської Америки, Індії і

Китаю, давно приступили до глобальної модернізації прокатного обладнання. По всьому світу розповсюдилися такі технології як “литво-прокатки” CVC - неперервне регулювання товщини штаби в процесі прокатки, нескінченна прокатка.

Аналіз численних прикладів модернізації прокатного обладнання, приведених в літературі, показує, що модернізація не в змозі кардинально змінити ситуацію в боротьбі за якість прокату. Причини цього закладені в неможливості зміни традиційної схеми прокатної кліті, яка має істотні конструктивні недоліки.

Сучасна прокатна кліть, наприклад, кварто, складається із станини, двох опорних валків, двох робочих валків, гідронатискних або електромеханічних пристроїв і механізмів противигину опорних і робочих валків. У такій кліті зовнішні сили, що створюють зусилля прокатки, прикладаються до шийок валків, тобто на їх кінцях. З боку штаби на валки діють реактивні сили, що викликають в них великі моменти, що згинають. В результаті у валках виникає небезпечна напруга, яка сприяє виникненню мікротріщин в робочому шарі і його руйнування.

В даний час до продукції широкоштабових станів холодної прокатки висуваються жорсткі вимоги, пов'язані з необхідністю зростання її конкурентоспроможності на світовому ринку, потреби якого в останнє десятиліття істотно змінилися. Основним критерієм, що визначає конкурентоспроможність продукції, є якість, яка гарантується за рахунок мінімізації різнотовщинності і неплощинності штаби.

Якість профілю штаби (різнотовщинність і площинність) формується головним чином під час гарячої прокатки. Холодна прокатка мало змінює відносну величину поперечної різнотовщинності, але робить істотний вплив на площинність штаби, і в цьому питанні важлива роль належить раціональній вихідній профілізації валкового вузла [1, 2].

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічний процес прокатки штаб в умовах ЦХП ПАТ «Запоріжсталь»

Неперервний стан холодної прокатки (НСХП) 1680 використовується для прокатки холоднокатаного листа товщиною 0,5...2,0 мм, швидкість прокатки - до 10 м/с, довжина бочки валків 1680 мм, діаметр робочих і опорних валків 510 і 1420 мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3300 кВт через шестеренну кліть. У якості підкату використається гарячекатана штаба товщиною 2...3,8 мм з масою рулону до 15 т. Сумарне обтиснення на цих станах досягає 80 %. Цей стан є основним постачальником холоднокатаної листової сталі ПАТ «Запоріжсталь».

Після заправлення штаби в першу кліть прокатка ведеться на постійній заправній швидкості, поки передній кінець штаби пройде всі кліті і на моталці утворює 2...3 витка штаби. Потім швидкість підвищується до робочої, і рулон прокатується з постійною робочою швидкістю. Перед звареним швом швидкість прокатки вповільнюється. Потім робиться розгін стана до робочої швидкості, і далі все повторюється. При підході заднього кінця штаби швидкість прокатки зменшується з робочої до заправної, після чого задній кінець прокатується з постійною заправною швидкістю. Після паузи починається прокатка рулону.

Значна частина штаби прокатується зі змінною швидкістю, що впливає на параметри процесу прокатки: силу прокатки, натягнення штаби, товщину штаб, обтиснення, коефіцієнт тертя тощо.

Зварені шви прокатуються на вповільненій швидкості, через нестабільність механічних властивостей швів і зміну товщини. Якщо при проходженні зварених швів між валками швидкість прокатки не знижувати, то це веде до сильних ударів і може відбутися розрив штаби [3].

Для того щоб не знижувати швидкість прокатки при проходженні зварених швів, потрібно забезпечити однакові механічні властивості металу штаби і металу шва і мінімальну різнотовщинність підкату. Вирівнювання меж плинності матеріалу штаби і матеріалу шва може бути досягнуто зниженням обтиснення по шву за рахунок зняття ґрата на мінус.

Для зміни швидкості валків стана застосовують двигуни, що забезпечують швидкий розгін і зупинку.

При багаторазовому обтисненні штаби спостерігається її значний розігрів, тому виникає необхідність примусового охолодження валків і штаби. Для охолодження використають технологічне змащення. Змащення при холодному прокатуванні знижує коефіцієнт тертя між валками і штабою до 0,02...0,06, завдяки чому зменшуються сила прокатки і опір деформації. Прокатка зі змащенням гарантує більше обтиснення, знижує витрати енергії, зменшує зношування валків, і підвищує якість листової сталі.

Змащення повинно добре прилипати до валків, забезпечуючи рівномірну плівку між валками і штабою що прокатується, і під час прокатки не повинне видавлюватися. Змащення утворить поділяючий ковзний шар між валками і штабою що прокатується. Змащення також повинно легко віддалятися з поверхні листовий сталі після прокатки. Більш успішні вважаються емульсії на основі мінеральних мастил. Емульсія подається по обидва боки робочої кліті в місця контакту валків і штаби та на метал що прокатується. Для готування емульсій і подачі її на валки робочої клітей існує спеціальна установка. На стан емульсію подають за допомогою насосів. Для очищення емульсії застосовують фільтри і магнітні сепаратори. Для охолодження емульсії застосовують охолоджувачі. Ефективність змащення залежить не тільки від правильного вибору їхнього складу, але і від способу подачі на штабу і валки [3].

Холодна прокатка виконується зі значним натягом, що знижує силу прокатки, стабілізує процес прокатки і служить у якості регулюючого фактора товщини штаби.

Звичайно на штабу в першій кліті діє тільки передній натяг, а в останній і проміжній клітях діє передній і задній натяг. Між клітями натяг створюється за рахунок неузгодженості швидкостей, а передній натяг в останній кліті – моталкою.

Особливість холодної прокатки – це виникнення наклепу, в результаті чого різко зростають границя текучості, межа міцності і зменшується відносне подовження.

Холодна пластична деформація металу супроводжується значним виділенням тепла, тому температура штаби досягає 150...250о С [3].

Прокатка на НСХП відзначається високими швидкостями деформації, які впливають на межу плинності. Але цей вплив незначний і його звичайно не враховують.

Натяг штаби істотно впливає на товщину штаби: зі збільшенням натягу товщина штаби зменшується. При стійкому процесі прокатки для забезпечення високої точності розмірів штаби по довжині доцільно підтримувати натяг у межах 0,2 -0,4 σТ.

Механічні властивості підкату по довжині штаби розподіляються нерівномірно. Через неоднорідність хімічного складу в слябах у гарячекатаних рулонах виникає додаткова неоднорідність через різні режими охолодження кінців і середини штаби. Кінці штаби остигають швидше, у результаті межа міцності металу на початку і наприкінці рулону вище, ніж у середині, на 10...18%.

Зміна товщини і натяг штаби по фазі збігаються зі зміною зазору між валками через биття валків.

Швидкість прокатки впливає на поздовжню різнотовщинність через коефіцієнт тертя, границю текучості матеріалу, що прокатується, і внаслідок зміни товщини масляної плівки.

Зі збільшенням швидкості прокатки підвищується температура металу внаслідок теплового ефекту пластичної деформації. Збільшення температури

металу приводить до зниження межі плинності і до зниження сили прокатки і товщини штаби.

Важливим завданням прокатки є одержання необхідних механічних властивостей, тому що структура і штампуємість листової сталі, визначаються режимом холодної прокатки. При критичному ступені деформації (наприклад, 7...10 % для сталі 08кп) при рекристалізації утворяться дуже крупні зерна. При малій ступені деформації, зерна гарячекатаного металу майже не дробляться, і далі ріст зерна не спостерігається, тому що відсутня рекристалізація. При збільшенні ступені деформації зерна фериту дробляться і витягаються в напрямку прокатки, спостерігається розрив міжзеренної речовини, границі зерен майже зникають, цементит також витягається уздовж прокатки [4].

Межа міцності і межа плинності холоднокатаної відпаленої сталі зростає зі збільшенням ступеня деформації. При холодній прокатці сумарне обтиснення становить 50...80 %, а одержання необхідних механічних властивостей забезпечують підбором оптимального хімічного складу сталі і режиму відпалу.

1.2 Опис конструкцій і роботи основного устаткування ЦХП

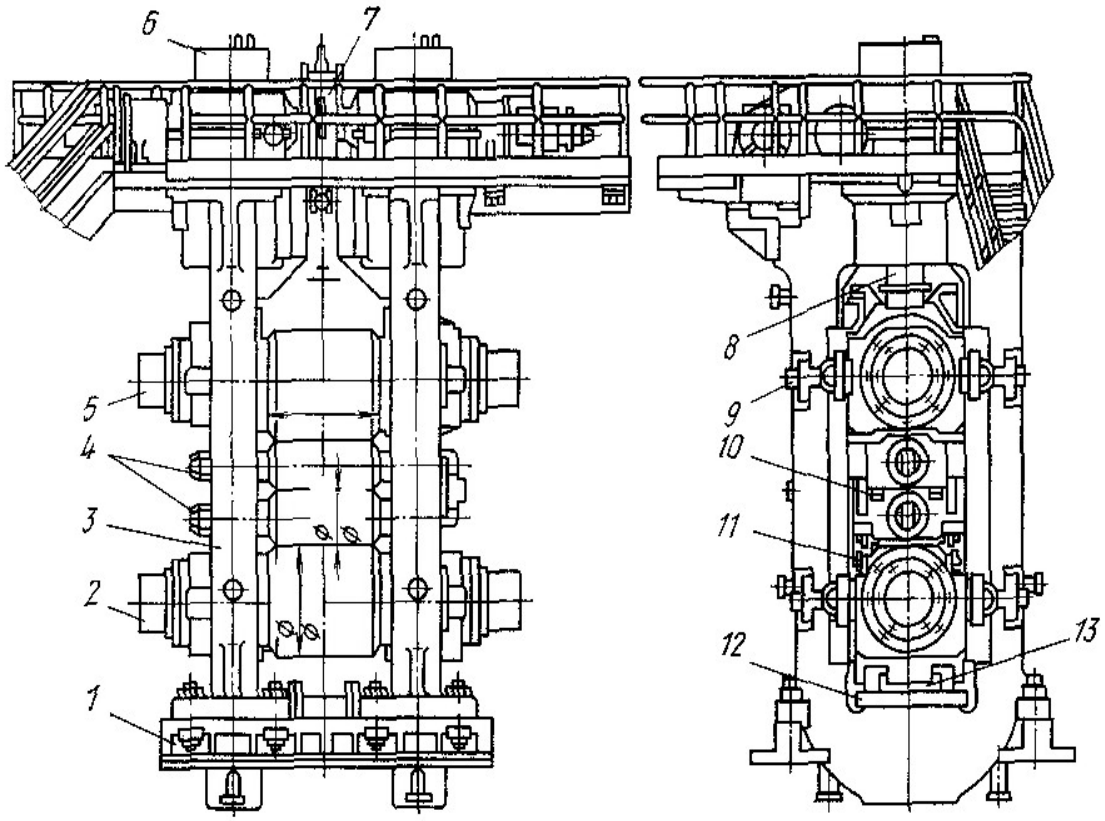
У прокатному відділенні спостерігається прокатка в клітях закритого типу з робочими валками діаметром 465 - 510 мм, і опорними 1210 - 1420 мм. На рис 1.1 зображена прокатна кліть закритого типу НСХП 1680.

При зміні повного комплекту робочих і опорних валків застосовують гідравлічний пристрій, що врівноважує.

На рис 1.2 показаний загальний вид пристрою для гідравлічного зрівноважування верхніх робочого і опорного валків стана 1680. Зрівноважування робочих і опорних валків виконується за допомогою гідравлічних плунжерів 3, які розташовані між подушками опорних і робочих валків.

Шестеренна кліть, подано на рис 1.3 і призначена для поділу крутного моменту на опорні валки. Шестеренні кліті роблять відкритими (зі знімною кришкою). Вони складаються з наступних основних елементів: станини; кришки; шестерень; подушок з підшипниками.

Станини і кришки відливають із модифікованого або високоміцного чавуну (марок ВЧ45-5, СЧ32-52); підшипники – бабітові або роликові конічні; шестерні виготовляють із кованої легованої сталі марок 40ХН, зуби піддають поверхневому гартуванню [5].



1 – плитовина; 2 – нижній опорний валок; 3 – станина; 4 – робочі валки; 5 – верхній опорний валок; 6 – натискний механізм; 7 – механізм врівноваження верхнього опорного валка; 8 – натискний гвинт; 9 – гідрозаслонка; 10 – гідроциліндр; 11 – направляючі бруси для зміни робочих валків; 12 – полоз’я для зміни опорних валків

Рисунок 1.1 – Прокатна кліть закритого типу НСХП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

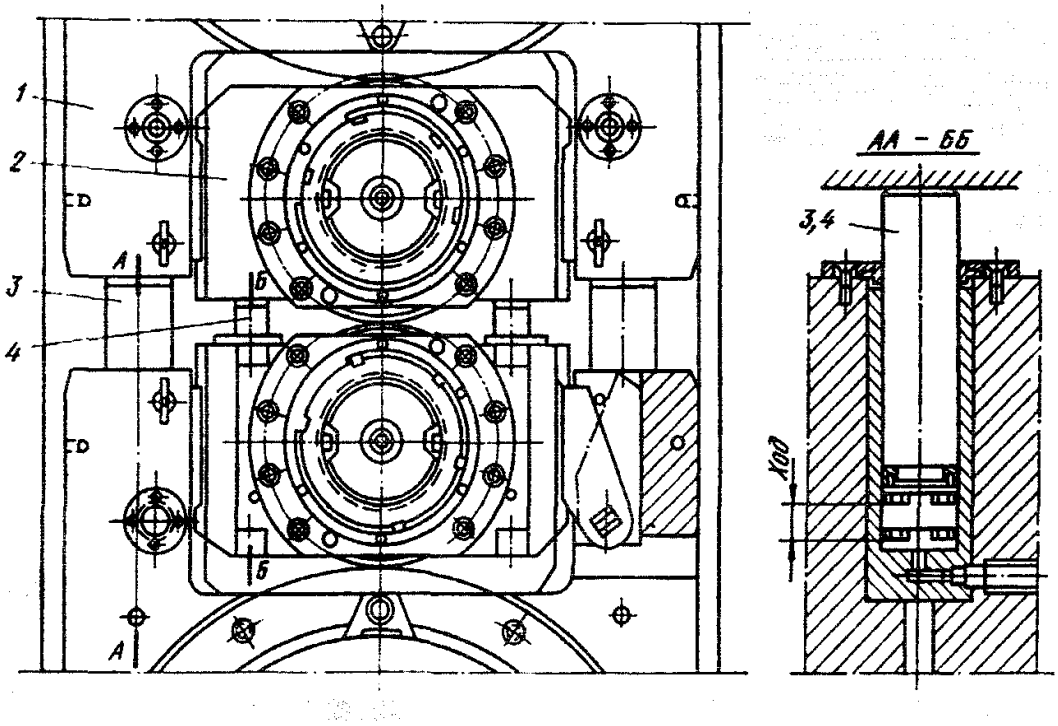


Рисунок 1.2 – Гідравлічне урівноважування верхнього робочого і опорного валків чотиривалкової кліті стана 1680

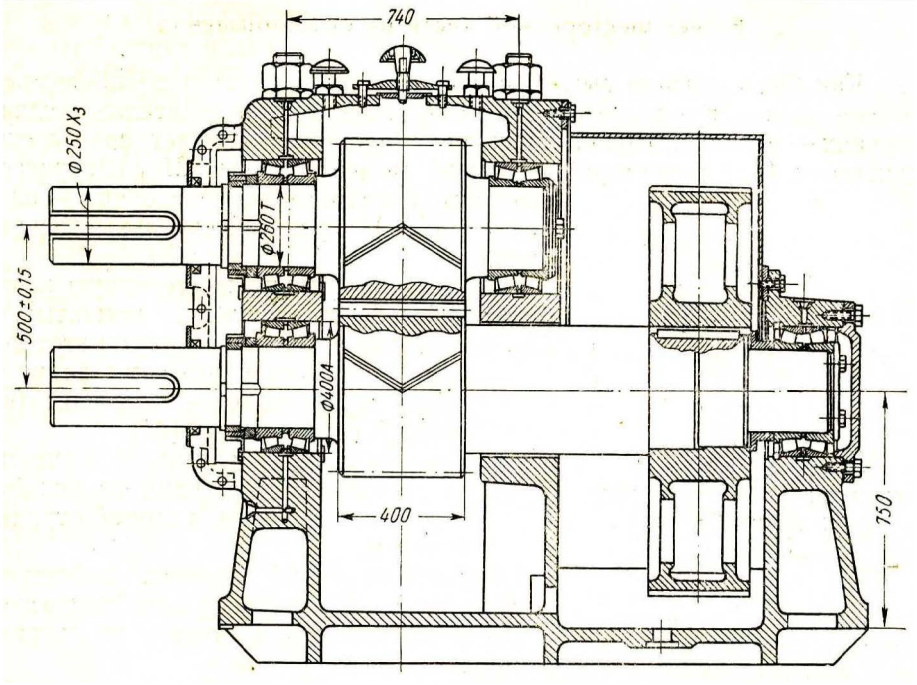
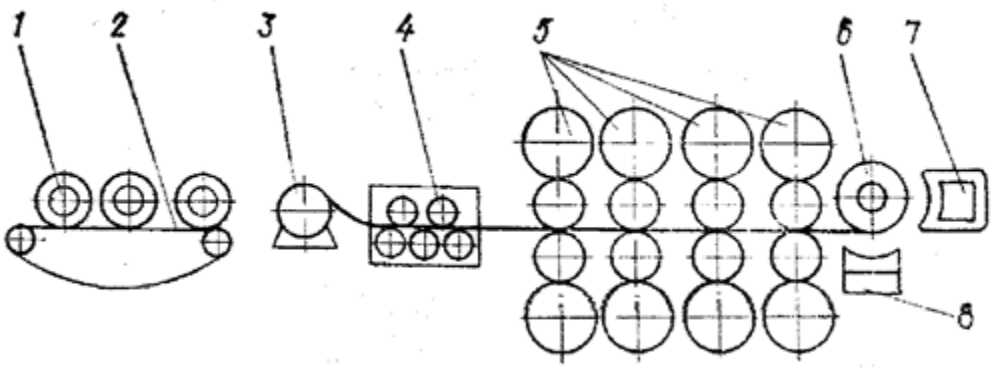


Рисунок 1.3 – Шестеренна кліть для привода валків чотири валкової кліті стана 1680 конструкції НКМЗ

На рис. 1.4 зображена схема чотирьох клітьового неперервного стана холодної прокатки - 1680.



1 – протравлені рулони, 2 – транспортер, 3 – розмотувач, 4 – правильно-натяжна машина, 5 – валки робочих клітей, 6 – моталка, 7, 8 – колиска знімача

Рисунок 1.4 – Схема чотириклітьового неперервного стана холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

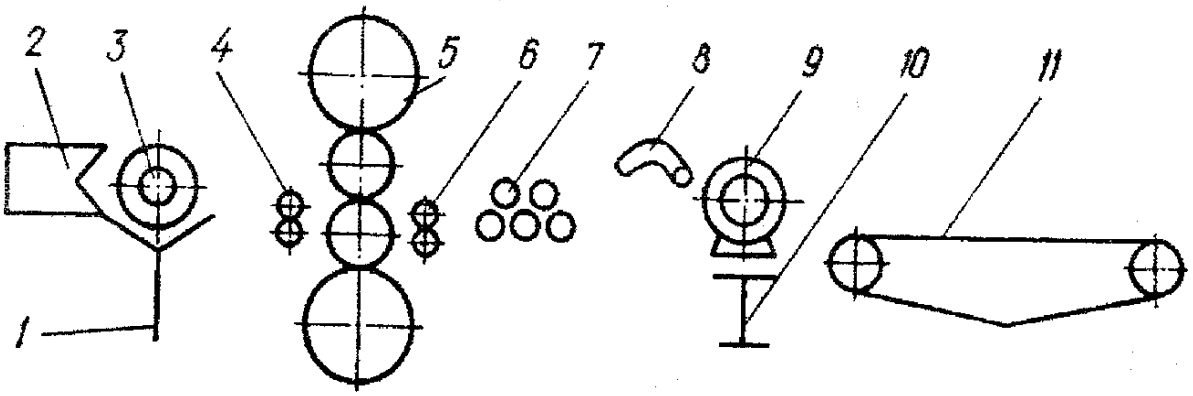
Протравлені рулони 1 краном установлюються на ланцюговий транспортер 2, і передаються на розмотувач 3. Кінець штаби відгинається і задається в тягнучі ролики правильно-натяжної машини 4. Потім тягнучими роликами штаба задається у валки робочих клітей 5 (із заправною швидкістю).

Штаба, пройшовши робочі валки 4-ї кліті, задається в барабан моталки 6. Після намотування 3...4 витків створюється натяг між 4 кліттю і моталкою, стан розганяється до робочої швидкості.

Після прокатки рулону, коли на головках розмотувача залишається два-три витка штаби, швидкість стана вповільнюється до заправної, після чого кінець штаби пропускають через робочі кліті. На барабані моталки кінець штаби фіксується колискою знімача 8, і рулон убирається на пакувальне сковзало, потім по ланцюговому конвеєрі рулони транспортуються в термічне відділення [6].

На рис. 1.5 подано схема одноклітьового дресирувального стану 1700. Рулони подаються ланцюговим транспортером 11 з відділення відпалу. З ланцюгового транспортера рулон кантується і механізмом подачі 10 подається на розмотувач 9. Передній кінець рулону відгибачем 8 відгинається і задається на заправній швидкості в правильно-тягнучу машину 7, а потім у натяжний пристрій 6. Пройшовши валки робочої кліті 5, передній кінець штаби проходить задній натяжний пристрій 4 і намотується за допомогою захлестувача 2 на барабан моталки 3.

На рис. 1.6 подано схема агрегату поперечного різання, призначеного для порізу штаб з вуглецевих сталей товщиною 0,6...2,0 мм, шириною 700...1500 мм на листи довжиною 1...6 м зі швидкістю 1,5...6 м/с.



1, 3 – барабан моталки, 2 – захлестувач, 4 – натяжний пристрій, 5 – валки, 6 – натяжний пристрій, 7 – правильно-тягнуча машина, 8 – відгибачь, 9 – розмотувач, 10 – механізм подачі, 11 – транспортер

Рисунок 1.5 – Схема одноклітьового дресирувального стана 1700

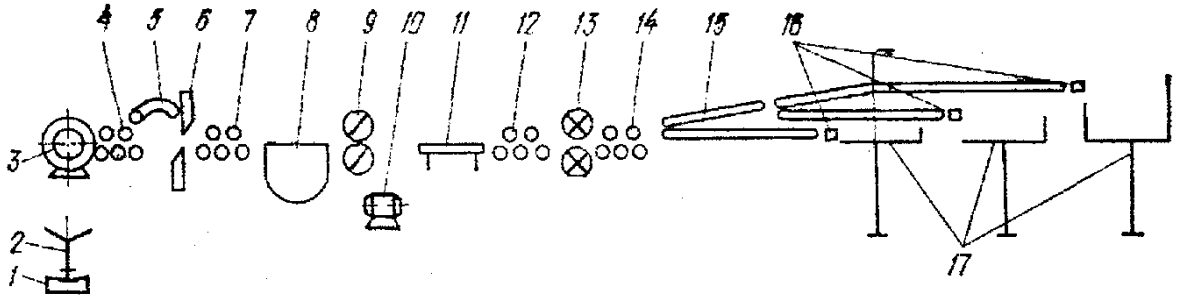


Рисунок 1.6 – Схема агрегату поперечного різання холоднокатаних штаб

За допомогою крана рулони встановлюються на конвеєр 1. Черговий рулон за допомогою пересувного гідравлічного стола 2 насувається на консольний барабан розмотувача 3; останній автоматично розклинюється (збільшується його діаметр) і повертається в положення, необхідне для відгинання переднього кінця штаби магнітним відгибачем 6, при цьому ролик 4 опускається. Передній нерівний кінець штаби (довжиною 1 - 2 м) відрізається гідравлічними гільйотинними ножицями 6, подається роликами 7 на похилий стіл 8 і скидається в бічний короб для обрізки.

Бічні крайки штаби відрізаються дисковими ножицями 9 і змотуються в тугі мотки кромкомоталкою 10. Остаточне виправлення штаби виконується другою правильною машиною 12, після чого штаба розрізається на листи мірної довжини летучими барабанними ножицями 13. Петлеві столи 8 і 11 призначені для забезпечення можливості вирівнювання швидкості дискових ножиців зі швидкістю обох правильних машин.

Пакетуючий пристрій 17 складається із трьох секцій: перша – для бракованих листів, а інші дві для придатних. Листи направляються на пакетуючі столи розподільним стрічковим транспортером 15. Над нижньою областю цього транспортера встановлені перемикаючі електромагніти. Перемикання цих магнітів виконується від імпульсу приладів 11 контролю якості поверхні штаби, розташованих перед другою правильною машиною. Перед надходженням на пакетуючі столи придатні листи промаслюються в пристроях 16 [6].

На рис. 1.7 подано схема агрегату поздовжнього різання холоднокатаних штаб. Цей агрегат використовується для обрізки бічних крайок рулонної штаби і різання її на вузькі стрічки. Параметри вихідних рулонів: маса до 30 т, товщина штаби 0,4 - 2,0 мм, ширина 750 - 1550 мм. Готові вузькі рулони: маса до 10 т, зовнішній діаметр до 1600 мм, внутрішній діаметр 600 мм, ширина 80 мм і більше.

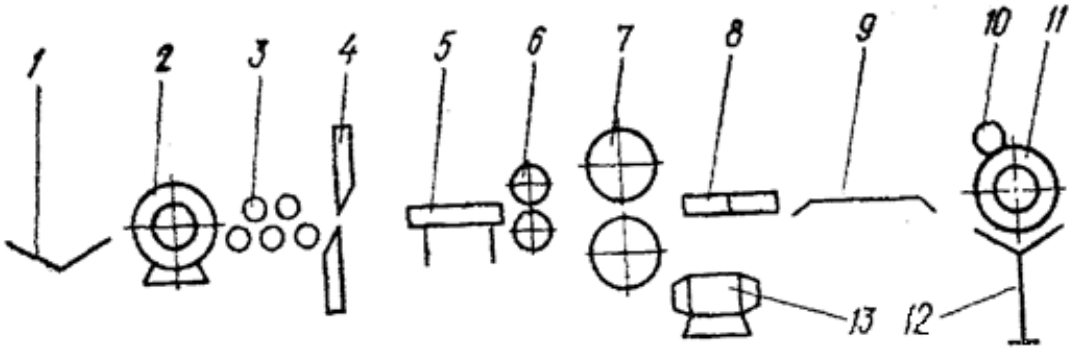


Рисунок 1.7 – Схема агрегату поздовжнього різання холоднокатаних штаб

Вихідний рулон зі стелажа 1 установлюється на барабан розмотувача 2, кінець штаби відгинається магнітним вигибачем 3 і обрізається ножицями 4, подається в пристрій, що промаслює, 5. Штаба проходить через контрольно-маркувальний стіл 6 і дисковими багатопарними ножицями 7 розрізається на вузькі стрічки; при заправленні агрегату візок машини 8 під'їжджає до дискових ножиців і схоплює кінець стрічок, затискаючи їх між своїми роликами, безпосередньо при виході стрічок з ножів ножиців. Потім при одночасному обертанні ножів ножиців візок по напрямних переміщається до моталки 11, перед якою спеціальним пристроєм стрічки розводяться друг від друга й задаються в щілину барабана. Формування рулону стрічки виконується на моталці за допомогою притискного ролика, що качає, 10. Рулони стрічок за допомогою пересувного піднімального стола 12 передаються на поворотний стіл і далі краном - на упаковку. При різанні стрічок на ножицях одночасно виконується обрізка бічних крайок, які змотуються на кромкомоталці 18 [5].

Барабанні ножиці є однією з основних машин для різання металу. Вони набули широкого застосування для холодного різання сталевих штаб товщиною до 3 мм. Пристрій і принцип роботи полягають у наступному. На двох барабанах по їх утворюючим радіально закріплені ножі (по одному або по трьох на кожному барабані). Штаба рухається безупинно і подається до ножиців роликами (або валками останньої кліті неперервного стана) з

постійною швидкістю. При зустрічі верхнього і нижнього ножів спостерігається різання штаби. Для створення розриву між відрізаними шматками штаби швидкість вихідного рольганга повинна бути більше швидкості штаби перед ножицями.

1.3 Аналіз параметрів режиму деформації на НСХП 1680

Слід зазначити, що створення необхідних умов для ведення ідеального процесу холодного прокатування на діючих станах пов'язане з труднощами організаційного і технологічного характеру. Ці труднощі полягають в прийнятих на кожному заводі режимах обтиснень, технологічних схемах, що склалися, традиціях і навичок персоналу. Тому сенс даного дослідження бачиться не тільки і не стільки у визначенні умов для ведення ідеального процесу холодного прокатування, скільки у виявленні оптимальних умов ведення процесу холодного прокатування як з енергетично сприятливої сторони, так і з боку отримання високої якості прокату (з низькою подовжньою і поперечною різнотовщинністю, хорошою планшетністю, високою точністю).

Вибір обтиснення

До холоднокатаних листів висуваються високі вимоги по планшетності і різнотовщинності, а також ряд інших вимог до якості листа, які ють| обмежуючим чинником при виборі режимів обтиснень.

Обтиснення в першій кліті

При прокатуванні в першій кліті заднє натягнення практично відсутнє, унаслідок чого штаба при великих обтисканнях погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатки [3]. Ця обставина обмежує обтискання в першій кліті. Крім того обтискання в першій кліті обмежується тим, що гарячекатаний підкат має істотну різнотовщинність (першу кліть потрібно використовувати для регулювання товщини штаби за допомогою

САРТ і тому вона повинна мати резервну потужність для забезпечення належного діапазону регулювання) [7].

Важливим доводом в захист знижених обтиснень в перших клітях неперервного стану є те, що ефект самовирівнювання різнотовщинності помітно виявляється лише тоді, коли деформаційне зміцнення металу порівняно невелике. Отже, зниження обтиснень в перших клітях сприяє самовирівнюванню подовжньої різнотовщинності.

Обтиснення в останній кліті стана

При виборі величини обтиснення в останній кліті безперервних станів враховують, що дуже велике обтиснення утрудняє надходження мастила в зону деформації, внаслідок чого погіршується якість поверхні. Іноді йдуть на збільшення обтиснення в останній кліті з тим, щоб мати між останньою і передостанньої клітями підвищену товщину штаби [4]. Це зменшує вірогідність обриву штаби при натягненні. Завдяки значній деформації в останній кліті температура штаби суттєво зростає і при змотуванні штаби в рулон складає близько 200оС. Це сприятливо позначається на якості профілю прокатаної штаби, оскільки| спостерігається виправлення штаби розтягуванням при підвищеній температурі.

Обтиснення в останній кліті не може бути малим також тому, що з його величиною пов'язана якість регулювання товщини штаби на виході неперервного стана. Для умов роботи чотириклітьового стану 1700 Маріупольського меткомбінату при прокатуванні сталі з 2,0 на 0,5 мм відносне обтиснення в четвертій кліті складає 23%. При 20%-ній допустимій зміні натягнення штаби вальцювальник зможе відпрацювати відносну різнотовщинність штаби.

Вибір натягання штаби

Коливання обтиснень в першій кліті неперервного стана холодної прокатки (до 10 – 15 %), викликані подовжньою різнотовщинністю гарячекатаних штаб і роботою грубого регулятора товщини здійснюють

істотний вплив на профіль і форму прокатаних штаб і весь процес прокатки.

Одна і та ж нерівномірність деформації при прокатуванні в області короба призводить до меншого в 1,2...1,4 рази відхилення штаби від плоского стану, чим при прокатуванні хвилястої штаби.

Переднє натягання діє на форму коробоватої штаби ефективніше, ніж на хвилясту штабу. У зв'язку з цим, зважаючи на специфіку роботи перших клітей і наявність достатнього запасу пластичності металу, розрахунок профілізацій і режиму обтиснень потрібно проводити з урахуванням прокатки в них штаб з деякою коробоватістю.

Переднє натягання найбільш ефективно впливає на профіль і форму штаби в межах до 40 - 50 МПа. Подальше збільшення натягання з метою покращення їх площинності недоцільне [8].

Температурні умови прокатки

Процес холодної прокатки виявляється найбільш стабільним при температурі валків 55 – 60оС, яка гарантується при температурі емульсії 45 – 50оС і її витраті 420 – 630 м3/год. При цьому гаряча емульсія має хорошу відмиваючу здатність. При охолодженні емульсією валків на штабі менше відкладається жирових сполук, що призводить до утворення сажі при відпалі. Прокатка ж на емульсії з температурою вище 55оС викликає інтенсивне випаровування, яке перешкоджає візуальному спостереженню за профілем прокатуваних штаб.

В даний час на стані холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» валки охолоджуються емульсією з температурою 45 – 50оС. Це дозволило збільшити продуктивність стана і знизити на 0,5% кількість металу, відсортованого по дефектам площинності.

1.4 Стани нескінченної прокатки

Особливості використання технології нескінченної прокатки

Технологія нескінченної прокатки застосовується як на станах гарячої,

так і на станах холодної прокатки. Останнім часом її сталі застосовувати і на ливарно-прокатных агрегатах, що ще більше підвищило їх ефективність.

Суть технології нескінченної прокатки полягає в тому, що заготовки (або рулони) перед завданням в першу кліть прокатного стана зварюються між собою. В цьому випадку в стані прокатується фактично нескінченна штаба.

Дана технологія передбачає наявність додаткового устаткування на стані, такого як зварювальна машина. Також у разі холодної прокатки встановлюється накопичувач для штаби між зварювальною машиною і першою кліттю, який необхідний для того, щоб не зупиняти процес прокатки під час зварки двох рулонів між собою.

Переваги технології нескінченної прокатки наступні:

- відсутність втрат часу між проходами двох рулонів, що підвищує продуктивність стана;
- відсутність потрібності відрізання головної і хвостової частини рулону, що надає можливість зменшити відходи металу в обрізь;
- незмінно високі швидкості прокатки завдяки безперервності процесу, стабільність роботи устаткування і скорочення числа поломок;
- стабільні технологічні умови, що підвищує якість продукції;
- збільшення терміну служби прокатного устаткування;
- зниження потреби в техобслуговуванні, запчастинах і витратних матеріалах;
- можливість намотування рулонів більшої ваги або на замовлення;
- виробництво рулонів більшого розміру без потрібності внесення дорогих модифікацій в інше устаткування [10].

Розглянемо можливості застосування нескінченної прокатки на станах різного типу.

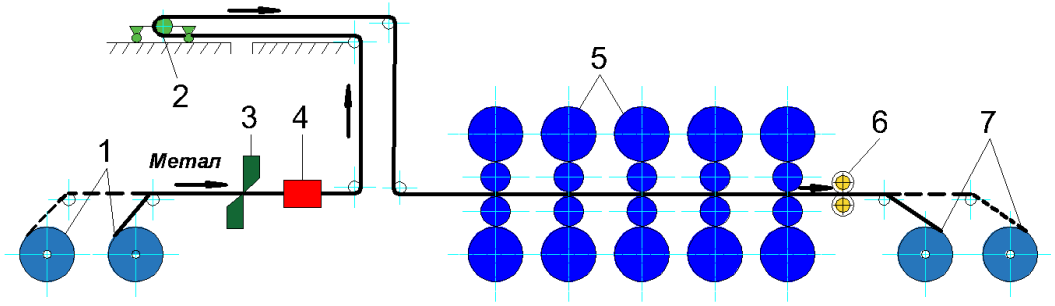
Нескінченна прокатка на станах холодної прокатки

На станах холодної прокатки прокатують штабу в рулонах, які

поступають з широкоштабового стана гарячої прокатки (ШСГП). Перед прокатуванням штабу піддають травленню, щоб видалити з неї окалину, після чого проводиться прокатка в реверсивному одноклетьовому або безперервному стані, у складі якого є 3...6 клітей. Застосування технології нескінченної прокатки можливе тільки на безперервних станах.

Продуктивність такого стана нескінченної прокатки вища, ніж на звичайному (порулонної прокатки), завдяки відсутності проблем, пов'язаних з прокаткою кінців штаб і втрат часу на їх заправку. Крім того, значно знижується вірогідність пошкодження валків, за рахунок виключення удару переднього кінця штаби об валки.

Приведемо схему стана 1420 нескінченної прокатки на одному із заводів Японії (рис. 1.8).



1 – розмотувач; 2 – петлевий пристрій; 3 – ножиці; 4 – зварювальна машина; 5 – робочі кліті; 6 – летючі ножиці; 7 – моталок.

Рисунок 1.8 – Схема стана нескінченної прокатки 1420:

Головна частина цього стана - традиційний набір машин і механізмів, що входить до складу безперервного агрегату: розмотувач, правильна машина, ножиці для вирівнювання кінців, зварювальний агрегат з гратознимачем і петлевий пристрій.

Технологічний процес проводиться за наступною схемою. Гарячекатані травлені рулони мостовим краном від вихідної частини безперервного травильного агрегату перевозяться до розмотувачів прокатного стана.

Після установки рулону на барабан розмотувача проводиться

відгортання, центрування і заправка переднього кінця штаби в правильну машину. Завдання рулону в один з розмотувачів і підготовка переднього кінця штаби проводять під час розмотування штаби з іншого розмотувача.

Після обрізання кінця попереднього рулону і початку наступного рулону проводиться їх зварювання на стикозварювальній машині. Обов'язковою умовою є рівна товщина кінців рулонів, яка контролюється спеціальним пристроєм.

Стикозварювальна машина (рис. 1.9) призначена для зварки встик оплавленням кінців суміжних штаб без попереднього підігріву і забезпечення процесу безперервної прокатки.

Режим зварки (настройка машини) визначаються електронно-обчислювальною машиною. Для ідентифікації швів пробиваються отвори діаметром 20 мм по центру штаби. Після зварки штаба розганяється до 750 м/хвил і подається в петлевий накопичувач, необхідний для забезпечення безперервності процесу прокатки під час зварки кінців штаб. Петлевий накопичувач містить станції, що тягнуть, і систему натяжних механізмів, центруючих і підтримуючих роликів для накопичення близько 800 метрів штаби (рис. 1.10).

Поки йде зварка кінців рулонів, витрачається штаба з накопичувача, після зварки запаси штаби в накопичувачі заповнюються за рахунок вищої швидкості розмотування рулону.

За накопичувачем є натяжні ролики, які створюють заднє натягнення. Перед першою кліттю також змонтовано обладнання, необхідне при переводі стана в режим порулонної прокатки металу.

Отже, прокатка штаби в робочих клітях виконується безперервно. На стані нескінченної прокатки заправна швидкість необхідна тільки один раз, в решту часу прокатка ведеться з постійною робочою швидкістю. Проте при прокатуванні швів доводиться зменшувати швидкість щоб уникнути обривів. Отже, тільки шви вносять деяку нестабільність в процес прокатки [10].

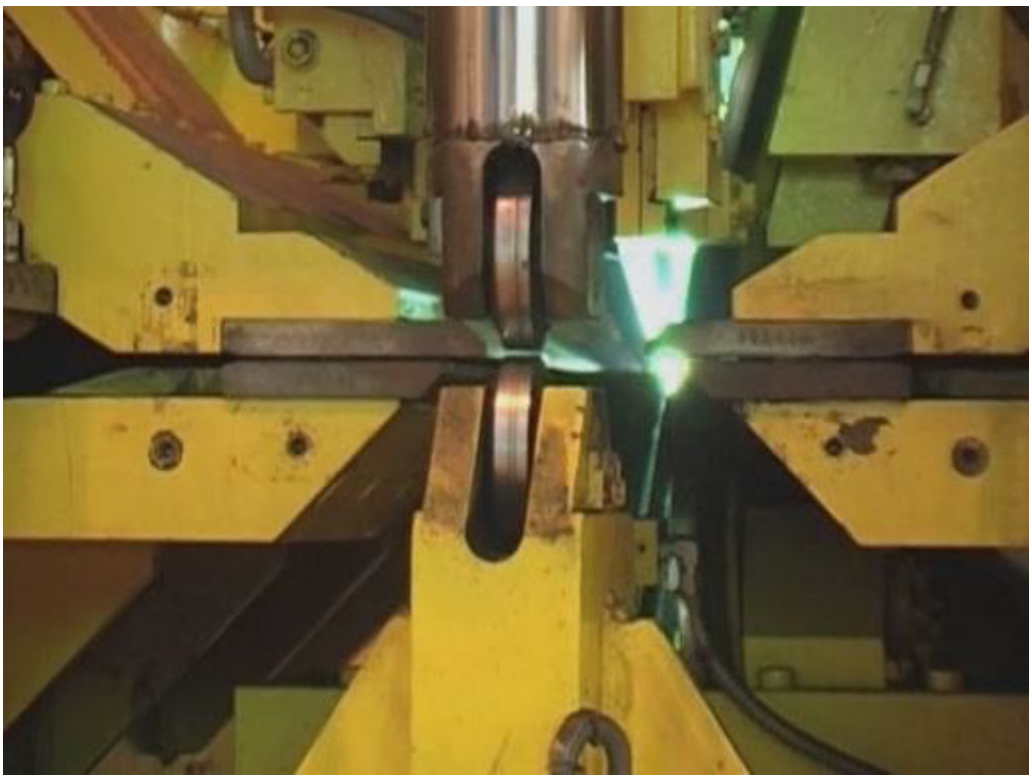


Рисунок 1.9 – Стикозварювальна машина стана холодної прокатки



Рисунок 1.10 – Петлевий накопичувач

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження і розрахунок енергосилових параметрів при холодному прокатуванні тонких штаб

2.1.1 Розрахунок контактних напружень

Розрахунок контактних нормальних напружень при прокатуванні тонких штаб може бути виконаний з використанням формул А.И. Целікова [6]:

для зони відставання

$$P_0 = \frac{\sigma_т}{\delta}\left[(\xi_0 \cdot \delta - 1)\cdot\left(\frac{h_0}{h_x}\right)^{\delta} + 1\right] \quad (2.1)$$

для зони випередження

$$P_1 = \frac{\sigma_т}{\delta}\left[(\xi_1 \cdot \delta + 1)\cdot\left(\frac{h_x}{h_1}\right)^{\delta} - 1\right] \quad (2.2)$$

де σт - середня по осередку деформації напруга плинності, МПа:

$$\delta = \frac{2\cdot f\cdot l_д}{\Delta h} \quad (2.3)$$

P0 і P1 - контактні нормальні напруження відповідно у зоні відставання і зоні випередження, МПа;

h0, h1, Δh – початкова і кінцева товщина штаби і абсолютне обтиснення, мм;

hk - товщина штаби у довільному перетині осередку деформації, мм;

$l_д$ – довжина осередку деформації, мм;

f – коефіцієнт тертя;

ξ0, ξ1 – коефіцієнт заднього і переднього натягання.

Для визначення величини тисків у довільному перетині осередку деформації розроблена блок-схема розрахунку (рис. 2.1). Осередок деформації розбивається на ряд перетинів (від 0 до k). У кожному перетині визначається поточна висота штаби h, яка порівнюється з висотою штаби у

нейтральному перетині hγ. Висота hγ визначається з умови рівності тисків P0 і P1 у цьому перетині з боку зони відставання і випередження:

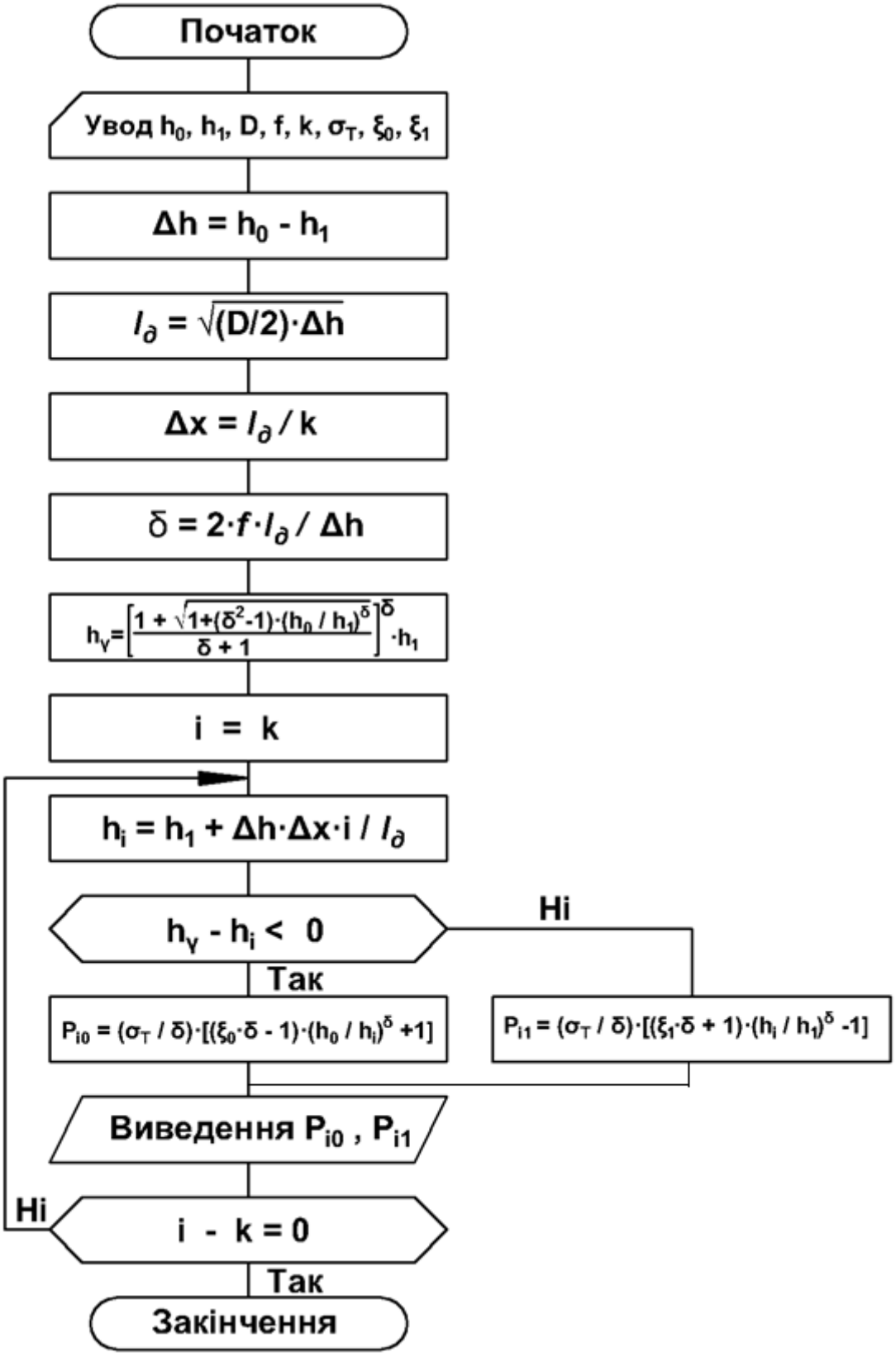


Рисунок 2.1 – Блок – схема розрахунку контактних напружень при поздовжньому прокатуванні штаб

$$h_\gamma = \left[\frac{1+\sqrt{1+(\delta^2-1)\cdot\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^\delta}}{\delta+1}\right]^{\frac{1}{\delta}} \cdot h_1 \qquad (2.4)$$

Змінюючи різні параметри (обтиснення, коефіцієнт тертя, діаметр валків, коефіцієнт заднього і переднього натягання) і розбиваючи осередок деформації на будь яку кількість ділянок, можна чисельно визначити вплив кожного з перерахованих факторів на розподіл нормальних контактних напружень.

Розрахунок виконували у програмному комплексі Mathcad Prime 5 відповідно до блок-схеми, наведеної на рис. 1.1. Осередок деформації розбивався на 20 перетинів (показники k, i) і у кожному перетині розраховувалися контактні нормальні напруження P. Початкова товщина штаби 2 мм, кінцева – 1,5 мм. Діаметр валків 500 мм, коефіцієнт тертя 0,05. Далі наведено хід розрахунку у програмі Mathcad Prime 5 і програма розрахунку контактних напружень при поздовжньому прокатуванні тонких штаб.

$h_0 := 2$ $h_1 := 1.5$ $D := 500$ $f := 0.05$ $k := 20$

$\sigma_T := 500$ $\zeta_0 := 1$ $\zeta_1 := 1$ $\Delta h := h_0 - h_1 = 0.5$

$\varepsilon := \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 = 25$ $l_\partial := \sqrt{\frac{D}{2} \cdot \Delta h} = 11.18$ $\Delta x := \frac{l_\partial}{k} = 0.559$

$\delta := \frac{2 \cdot f \cdot l_\partial}{\Delta h} = 2.236$ $h_\gamma := \left(\frac{1+\sqrt{1+\left(\delta^2-1\right)\cdot\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^\delta}}{\delta+1}\right)^{\frac{1}{\delta}} \cdot h_1 = 1.637$

$$P := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..20 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} h_i \leftarrow h_1 + \dfrac{\Delta h}{l_\partial} \cdot \Delta x \cdot i \\ \text{if } h_\gamma - h_i < 0 \\ \quad \left\| P_{0_i} \leftarrow \dfrac{\sigma_T}{\delta} \cdot \left(\left(\zeta_0 \cdot \delta - 1 \right) \cdot \left(\dfrac{h_0}{h_i} \right)^\delta + 1 \right) \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| P_{1_i} \leftarrow \dfrac{\sigma_T}{\delta} \cdot \left(\left(\zeta_0 \cdot \delta + 1 \right) \cdot \left(\dfrac{h_i}{h_1} \right)^\delta - 1 \right) \right. \end{array} \right. \\ \text{stack}\left(P_1, \text{submatrix}\left(P_0, 6, 20, 0, 0 \right) \right) \end{array} \right.$$

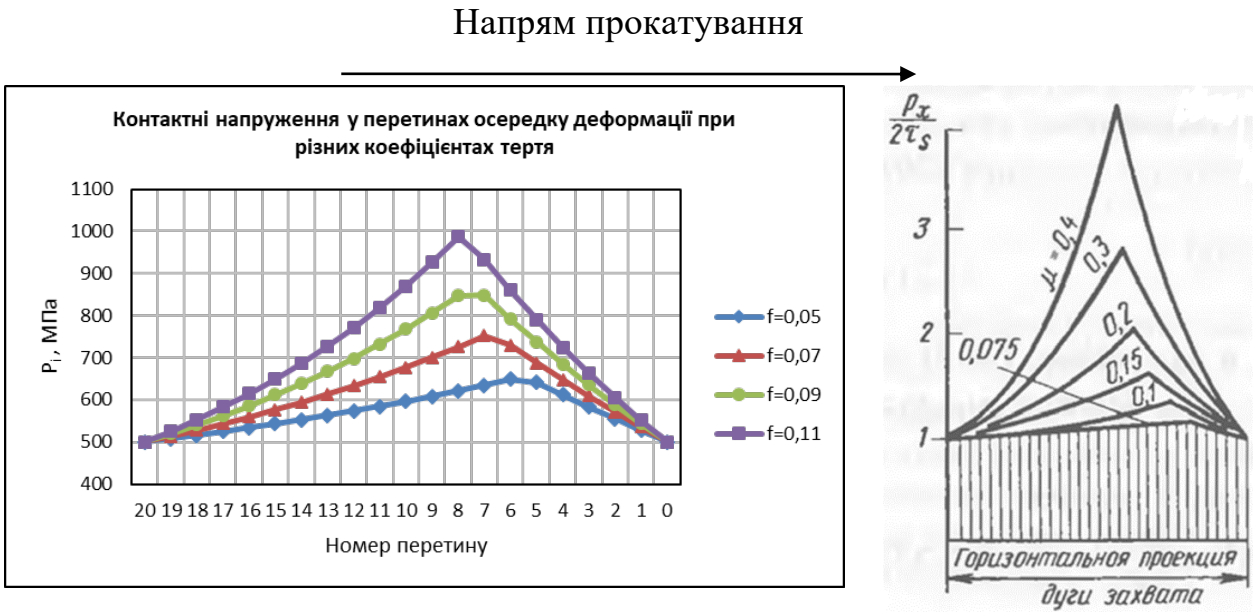
$$\max(P) = 648.561$$

$$= \begin{bmatrix} 500 \\ 527.245 \\ 555.048 \\ 583.411 \\ 612.336 \\ 641.825 \\ 648.561 \\ 634.509 \\ 621.12 \\ 608.353 \\ 596.171 \\ 584.54 \\ 573.426 \\ 562.802 \\ 552.638 \\ 542.909 \\ 533.591 \\ 524.661 \\ 516.099 \\ 507.884 \\ 500 \end{bmatrix} \qquad i := 0..20 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \\ 13 \\ 14 \\ 15 \\ 16 \\ 17 \\ 18 \\ 19 \\ 20 \end{bmatrix}$$

З метою виявлення впливу коефіцієнту тертя на величину і характер розподілу тисків по довжині осередку деформації, аналогічні розрахунки були виконані і для коефіцієнтів тертя 0,07, 0,09 і 0,11.

Результати розрахунків наведено у табл. 2.1 і на рис. 2.2. Як видно, отримані нами дані збігаються з літературними даними: чим більше коефіцієнт тертя, тим зростання контактного напруження у напрямку нейтрального перетину стає більш значним, а в наслідок цього очевидно, що зростає і сила прокатки. Діаметр валків має аналогічний вплив: зі збільшенням діаметру валків і, як наслідок, довжини дуги захвату, сила прокатки буде збільшуватися, а нейтральний перетин буде зміщуватися вліво на рис. 2.2. При натяганні штаби нормальний контактний тиск значно зменшується: чим більше сила натягання, тим менше сила прокатки. Натягання зі сторони входу металу в валки, так само, як і натягання зі

сторони виходу його з валків викликає зниження нормального контактного тиску.



а б

а – розрахункові дані; б – літературні дані [11]

Рисунок 2.2 - Епюри розподілу тисків по довжині осередку деформації при різних коефіцієнтах тертя

Таблиця 2.1 - Результати розрахунку контактних напружень у програмі Mathcad при різних коефіцієнтах тертя

№ перетину	Контактне напруження (МПа) при коефіцієнті тертя:			
	f=0,05	f=0,07	f=0,09	f=0,11
20	500,00	500,00	500,00	500,00
19	507,88	513,67	519,51	525,43
18	516,10	528,07	540,31	552,84
17	524,66	543,25	562,49	582,41
16	533,59	559,27	586,17	614,34
15	542,91	576,19	611,46	648,86
14	552,64	594,06	638,51	686,21
13	562,80	612,96	667,46	726,68
12	573,43	632,96	698,47	770,56
11	584,54	654,14	731,72	818,20
10	596,17	676,59	767,42	869,99
9	608,35	700,40	805,77	926,35
8	621,12	725,69	847,01	987,75
7	634,51	752,55	849,04	933,71
6	648,56	729,36	791,88	859,89
5	641,83	687,86	737,28	790,32
4	612,34	647,71	685,16	724,82
3	583,41	608,87	635,45	663,21
2	555,05	571,32	588,07	605,31
1	527,25	535,04	542,94	550,97
0	500,00	500,00	500,00	500,00

2.1.2 Осередок деформації

Алгоритм розрахунку характеристик осередку деформації

Алгоритм розрахунку розмірів осередку деформації представляє собою послідовність розрахунку вказаних нижче параметрів [6].

1. Абсолютний обтиск штаби

$$\Delta h = h_0 - h_1. \tag{2.1}$$

2. Відносний обтиск

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}. \tag{2.2}$$

3. Кут захвату

$$\propto = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{D}}. \tag{2.3}$$

4. Довжина дуги захвату

$$l_d = \sqrt{\frac{\Delta h \cdot D}{2}} = \sqrt{\Delta h \cdot R}. \tag{2.4}$$

5. Ширина штаби після проходу b1 і величина розширення Δb:

$$b_1 = b_0 + \Delta b;\ \Delta b = \frac{0{,}4 \cdot \Delta h \cdot l_д}{h_0} = 0{,}4 \cdot \varepsilon \cdot l_д. \tag{2.5}$$

6. Площа контактної поверхні

$$A_k = 0.5 \cdot l_д \cdot (b_0 + b_1). \tag{2.6}$$

7. Коефіцієнт витяжки (визначається із умови постійності об’єму)

$$\lambda = \frac{h_0 \cdot b_0}{h_1 \cdot b_1}. \tag{2.7}$$

8. Довжина штаби після проходу

$$L_1 = \lambda \cdot L_0. \tag{2.8}$$

9. Коефіцієнт розширення і обтиснення

$$\xi = \frac{b_0}{b_1};\ \frac{1}{\eta} = \frac{h_0}{h_1}. \tag{2.9}$$

Дослідження впливу діаметру валків і обтиснення на характеристики осередку деформації при холодному прокатуванні штаб.

Необхідно визначити вплив обтиснення на довжину осередку деформації і кут захвату при прокатці штаби в валках діаметром 400, 500, 600 і 700 мм, якщо обтиснення приймають наступні значення: 0,05; 0,1; 0,2; 0,4 і 0,8 мм. Побудувати графіки залежності довжини осередку деформації і кута захвату від обтиснення і діаметра валків.

Рішення

1. Розраховуємо довжину дуги захвату металу валками за формулою (табл. 2.2)

$$l_d = \sqrt{\Delta h \cdot R}\,.$$

Таблиця 2.2 – Зміна довжини дуги захвату від обтиснення і діаметра валків

Обтиснення Δh, мм	Довжина дуги захвату $l_д$, мм при діаметрі валків $D_в$			
	$D_в$=400 мм	$D_в$=500 мм	$D_в$=600 мм	$D_в$=700 мм
0,05	3,16	3,54	3,87	4,18
0,1	4,47	5,00	5,48	5,92
0,2	6,33	7,07	7,75	8,37
0,4	8,94	10,00	10,95	11,83
0,8	12,65	14,14	15,49	16,73

2. Розраховуємо кут захвату металу валками за формулою (табл. 2.2)

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}\,.$$

3. Використовуючи дані таблиць 2.2 і 2.3, будуємо графіки вказаних залежностей (рис. 2.3 - 2.4).

Таблиця 2.3 – Зміна кута захвату від обтиснення і діаметра валків

Обтиснення Δh, мм	Кут захвату α, град. при діаметрі валків $D_в$			
	$D_в$=400 мм	$D_в$=500 мм	$D_в$=600 мм	$D_в$=700 мм
0,05	0,91	0,81	0,74	0,69
0,1	1,28	1,15	1,05	0,97
0,2	1,81	1,62	1,48	1,37
0,4	2,56	2,29	2,09	1,94
0,8	3,62	3,24	2,96	2,74

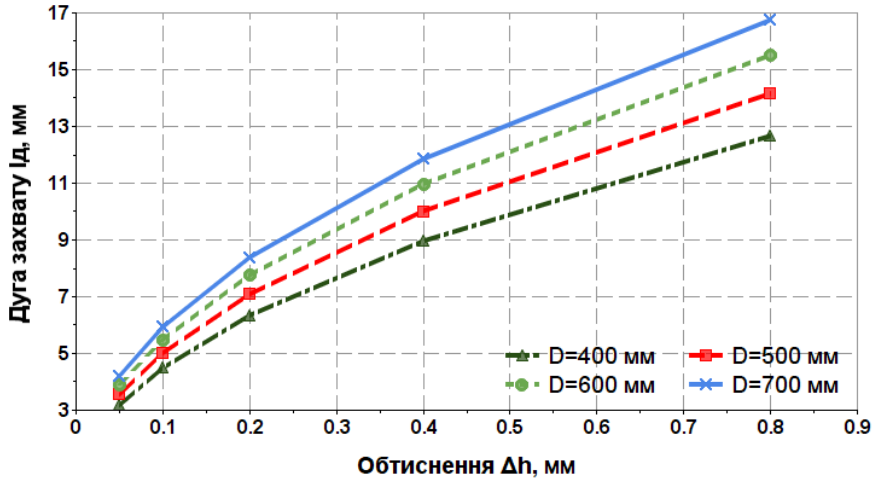


Рисунок 2.3 - Залежність довжини дуги захвату від обтиснення і діаметра валків

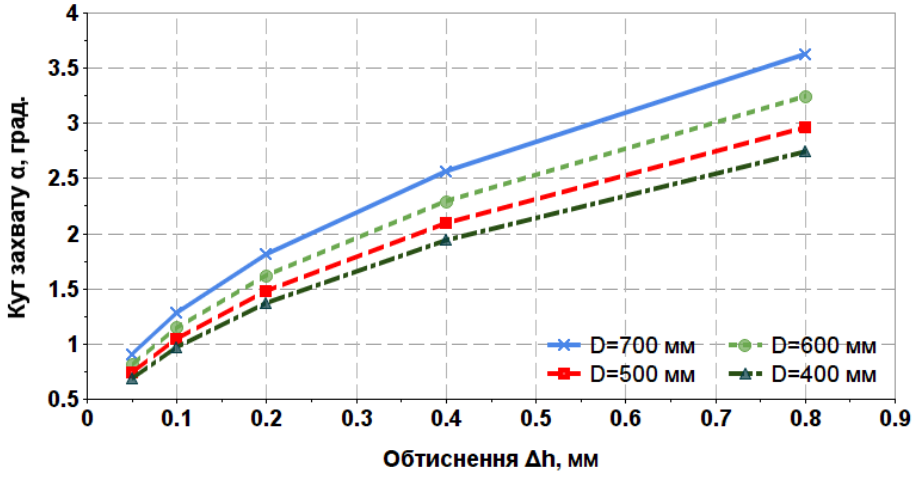


Рисунок 2.4 - Залежність кута захвату від обтиснення і діаметра валків

Отже змонтовано, що зі збільшенням діаметру валків і абсолютного обтиснення довжина дуги захвату і кут захвату збільшуються.

На основі даних табл. 2.2 і 2.3 у програмному комплексі Mathcad побудовані контурні графіки, зображені на рис. 2.5.

Дослідження впливу переднього і заднього натягнення на випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби з листового стана

Алгоритм розрахунків

1. Визначаємо, або вважаємо заданими, умови контактного тертя і межі текучості металу по клітям стана, тобто значення f, 2K заздалегідь відомі [6].
2. Вибираємо режим натягнення по клітям стана: заднє σ01, переднє σ11 – натягнення в першій і σ02, σ12 – в другій (останній) клітях, значення яких не повинно перевищувати допустимих відсотків межі текучості штаби.
3. Приймаємо існуючий режим обтиснень: товщину на вході h01 і виході h11 в першій і на виході h12 другої кліті, а також швидкість обертання валків ν2 другої (останньої) кліті стана.
4. Визначаємо випередження штаби в валках другої (останньої) кліті стана:

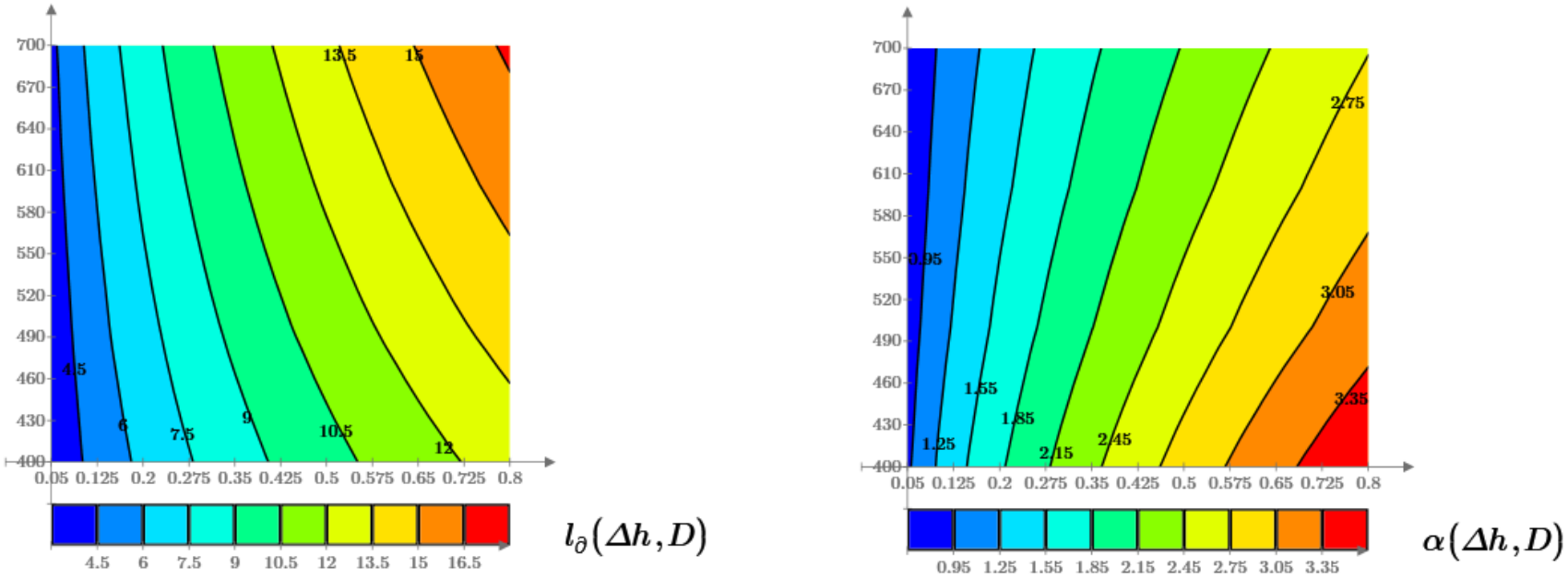
$$S_2 = S_{\text{штаби}}$$

5. Визначаємо швидкість штаби νштаби2 на виході з другої (останньої) кліті стана, використовуючи величину випередження S2.
6. Розраховуємо постійну (константу) неперервного стана, тобто величину C.
7. Визначаємо випередження штаби S2 в валках першої кліті.
8. Використовуючи рівняння постійності секундних об’ємів, визначаємо окружну швидкість обертання валків першої кліті νвалків1.
9. Розраховуємо швидкість штаби на виході з першої кліті νштаби1.

В результаті виконання розрахунків визначається:

– швидкість прокатки штаби по клітям неперервного стана;

– вплив переднього натягнення штаби на випередження і швидкість виходу штаби з валків.



а б

Рисунок 2.5 - Графіки ліній рівня (контурні графіки) залежності довжини дуги захвату l_∂, мм (а), і кута захвату α, град. (б) від обтиснення Δh, мм, і діаметра валків D, мм (вертикальна вісь – D, горизонтальна вісь – Δh)

Розрахунок випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби

Необхідно визначити і побудувати графіки впливу переднього і заднього натягнення на випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби з листового стана, який має діаметр робочих валків 520 мм. Товщина штаби до прокатки 2,07 мм, після прокатки 1,8 мм, коефіцієнт контактного тертя f=0,05, межа текучості штаби після прокатки σs1 = 375 МПа, валки обертаються зі швидкістю νв=24 м/с. Переднє натягнення змінюється і може приймати наступні значення: σ1 = 0,05; 0,1; 0,15; 0,20·σs1.

Рішення

1. Розраховуємо абсолютне обтиснення штаби:

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 2{,}07 - 1{,}8 = 0{,}27 \text{ мм.}$$

2. Знаходимо довжину дуги захвату металу валками:

$$l_д = \sqrt{\Delta h \cdot R} = \sqrt{0{,}27 \cdot 260} = 8{,}38 \text{ мм.}$$

3. Визначаємо переднє питоме натягнення штаби [6]:
4.

$$\sigma_1 = 0{,}05 \cdot \sigma_{S1} = 0{,}05 \cdot 375 = 18{,}75 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_2 = 0{,}1 \cdot \sigma_{S1} = 0{,}1 \cdot 375 = 37{,}5 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_3 = 0{,}15 \cdot \sigma_{S1} = 0{,}15 \cdot 375 = 56{,}25 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_4 = 0{,}2 \cdot \sigma_{S1} = 0{,}2 \cdot 375 = 75{,}0 \text{ МПа.}$$

5. Знаходимо коефіцієнти натягнення заднього та переднього кінців штаби:

$$2 \cdot K_1 = 1{,}155 \cdot \sigma_{S1} = 1{,}155 \cdot 375 = 418{,}125 \text{ МПа};$$

$$\delta = \frac{2 \cdot f \cdot l_д}{\Delta h} = \frac{2 \cdot 0{,}05 \cdot 8{,}38}{0{,}27} = 3{,}103;$$

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{2K_0} = 1, \text{оскільки } \sigma_0 = 0;$$

$$\xi_{11} = 1 - \frac{\sigma_1}{2K_1} = 1 - \frac{18{,}75}{418{,}125} = 0{,}955;$$

$$\xi_{12} = 1 - \frac{\sigma_2}{2K_1} = 1 - \frac{37{,}5}{418{,}125} = 0{,}913;$$

$$\xi_{13} = 1 - \frac{\sigma_3}{2K_1} = 1 - \frac{56{,}25}{418{,}125} = 0{,}865;$$

$$\xi_{14} = 1 - \frac{\sigma_4}{2K_1} = 1 - \frac{75{,}0}{418{,}125} = 0{,}821.$$

6. Розраховуємо випередження з урахуванням натягнення:

$$S_{11} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{11}}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3{,}103]{\frac{1}{0{,}955}\left(\frac{2{,}07}{1{,}8}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = 0{,}056;$$

$$S_{12} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{12}}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3{,}103]{\frac{1}{0{,}913}\left(\frac{2{,}07}{1{,}8}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = 0{,}064;$$

$$S_{13} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{13}}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3{,}103]{\frac{1}{0{,}865}\left(\frac{2{,}07}{1{,}8}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = 0{,}073;$$

$$S_{14} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{14}}\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3{,}103]{\frac{1}{0{,}821}\left(\frac{2{,}07}{1{,}8}\right)^{3{,}103-1}} - 1 = 0{,}082.$$

7. Визначаємо швидкість виходу штаби νш з валків для кожного випадку:

$$\nu_{ш1} = \nu_в \cdot (1 + S_{11}) = 24 \cdot (1 + 0{,}056) = 25{,}35 \text{ м/с};$$

$$\nu_{ш2} = \nu_в \cdot (1 + S_{12}) = 24 \cdot (1 + 0{,}064) = 25{,}55 \text{ м/с};$$

$$\nu_{ш3} = \nu_в \cdot (1 + S_{13}) = 24 \cdot (1 + 0{,}073) = 25{,}76 \text{ м/с};$$

$$\nu_{ш4} = \nu_в \cdot (1 + S_{14}) = 24 \cdot (1 + 0{,}082) = 25{,}98 \text{ м/с}.$$

8. Будуємо графіки впливу переднього натягнення на випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби з валків кліті (рис. 2.6) попередньо занісши необхідні дані до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вплив переднього натягнення на випередження і швидкість виходу штаби з валків

Відношення натягнення до межі текучості	Параметри процесу прокатки		
	натягнення штаби σ_1, МПа	випередження S_1, %	швидкість прокатки, $\nu_ш$, м/с
0,05	18,75	5,6	25,35
0,10	37,5	6,4	25,55
0,15	56,25	7,3	25,76
0,20	75,0	8,2	25,98

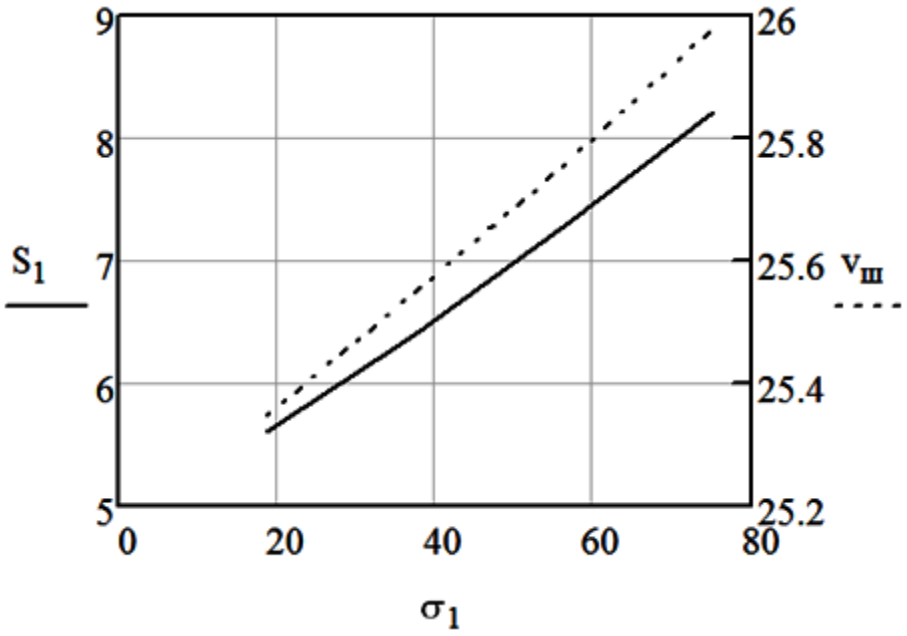


Рисунок 2.6 – Залежність випередження (S_1) і швидкості виходу штаби з валків ($\nu_ш$) від переднього натягнення σ_1.

3. МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок валків листопрокатних станів на міцність і деформацію в середовищі AutoCAD Mechanical

При вивченні дисципліни «Обладнання цехів ОМТ» однією з основних цілей є оволодіння здатністю розробляти математичні моделі складальних одиниць обладнання з проведенням необхідних розрахунків і розробкою технічної документації, застосовуючи при цьому сучасні комп'ютерні технології. Це надає можливість всебічно вивчати поведінку частин обладнання ще в процесі їх розробки, аналізувати геометрію, проводити інженерні розрахунки, отримувати фотореалістичні зображення.

Питанню автоматизації комп'ютерного моделювання присвячена велика кількість робіт [16-20]. Розглядаються можливості автоматизації графічного моделювання в КОМПАС-3D, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor, ABAQUS тощо, які надають інструменти проектування на основі правил і засобів автоматизації, що прискорюють процес і дозволяють користувачам концентруватися на реалізації проектного задуму, а не на моделюванні геометрії ручним способом. На базі функціональних вимог до виробу, системи САПР автоматично створюють інтелектуальні компоненти, надаючи можливість економити час проектувальника, дозволяють здійснювати перевірку моделей без випробування дослідних зразків.

Приведені в літературі дані в основному відносяться до моделювання валів редукторів, важелів, кулачків і ін. деталей машин. Дані по розрахунку валків прокатних станів із застосуванням вищенаведених програм відсутні.

Прокатні валки – змінний робочий і технологічний інструмент прокатних станів, який значною мірою визначає продуктивність станів,

якість прокату, стабільність технології, енергоємність і безаварійність процесу прокатки.

При визначені міцності валок розглядають як двохопорну балку, навантажену силою прокатки і крутним моментом, що приводить до появи в тілі валка нормальних і дотичних напружень. Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності n повинен перевищувати допустиме значення [n]:

$$\mathbf{n} = \frac{\sigma_в}{\sigma} \geq [\mathbf{n}] \text{ або } \mathbf{n} = \frac{\tau_в}{\tau} \geq [\mathbf{n}], \quad (4.1)$$

де – межа міцності матеріалу валка по нормальним і дотичним напруженням, ;

- відповідно розрахункове нормальне і дотичне напруження, МПа.

Допустиме значення коефіцієнта запасу міцності для всіх деталей прокатної кліті, окрім станини, приймають рівним 5, а для станини, як найбільш відповідального елементу прокатного стана – 10 [5].

Напруження згину в бочці валка визначають за формулою [5]:

$$\sigma_{згин} = M_{згин}/W_б = M_{згин}/(0,1D^3) \quad (4.2)$$

де Мзгин – згинальний момент, який діє в перетині, що розглядається, МН·м;

Wб – момент опору поперечного перетину бочки валка на вигин, м3;

D – діаметр бочки валка в перетині, що розглядається, м.

В AutoCAD Mechanical можна виконувати розрахунок валів, використовуючи контур, створений за допомогою генератора валів, або будь-який інший симетричний контур валу. Функція гарантує статичний розрахунок, який має велике значення для розрахунку навантаження на вал і підшипники котіння або ковзання.

Основний спосіб розрахунку існуючого валу полягає у визначенні контуру і вставці сил і опор. Програма розраховує всі необхідні значення і будує відповідні епюри моментів і деформацій.

Створимо розрахункову модель і виконаємо розрахунок на міцність і деформацію робочих і опорних валків чотиривалкової кліті стана 550/1500/2500 для холодного прокатування штаб, використовуючи такі ж вихідні дані, як в прикладі 17 [5, стор. 108].

Розрахункова схема валків кліті кварто із зазначенням розмірів і навантажень приведена на рис. 3.1. Оскільки навантаження на робочий і опорний валок різні, то розрахунки проводимо окремо для робочого і опорного валка.

На першому етапі рішення задачі по схемі на рис. 3.1 (або по компонувальному кресленню) виконується 2D модель валка за допомогою генератора валів AutoCAD Mechanical. Перед виконанням любих розрахунків на валку потрібно створити його контур. На рис. 3.2 (а) наведено діалогове вікно «Генератор валів». За допомогою кнопки 1 будуються гладкі циліндричні ділянки валка за заданими довжинами і діаметрами. Потім за допомогою кнопки 2 добавляються галтелі.

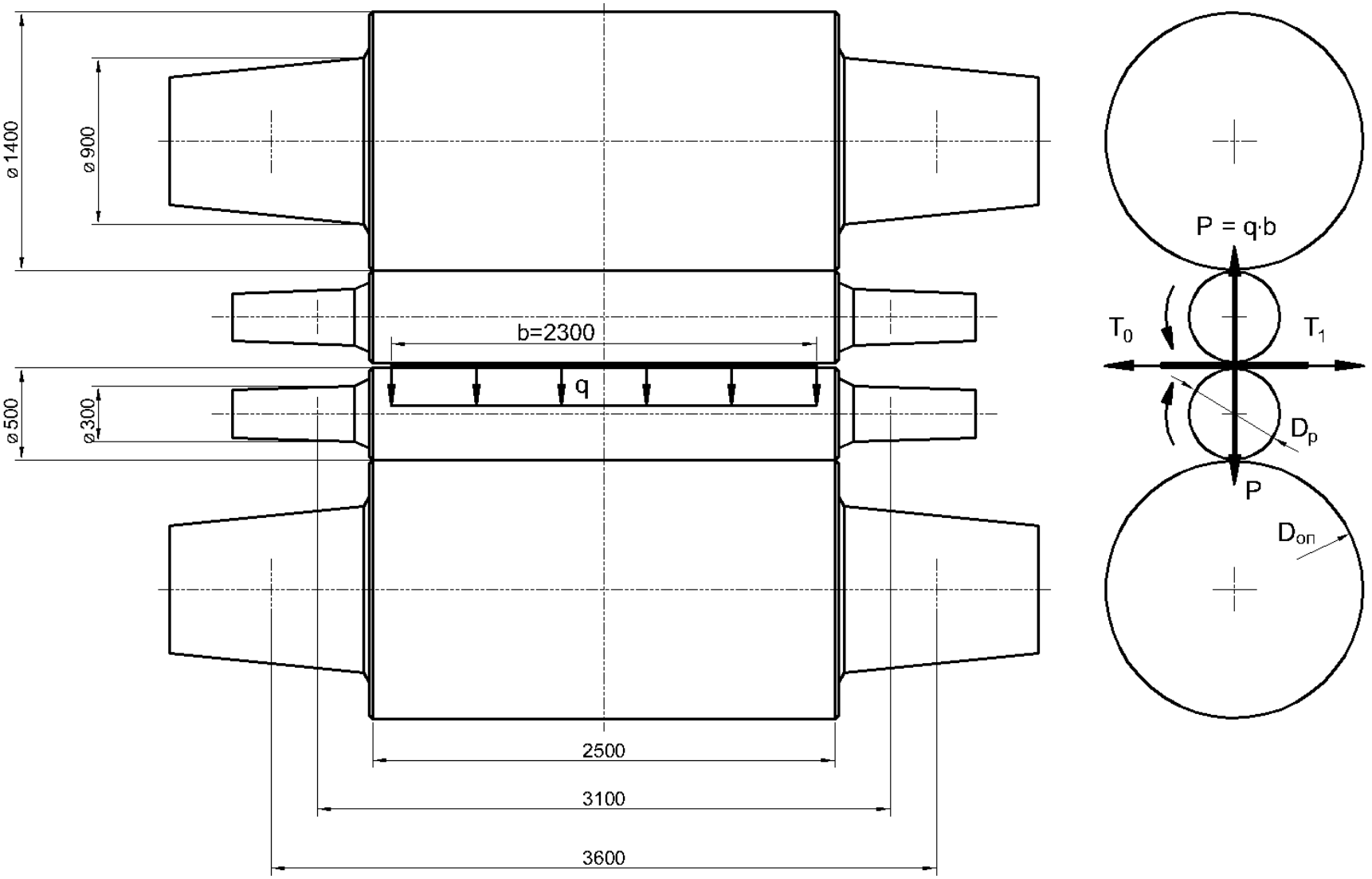
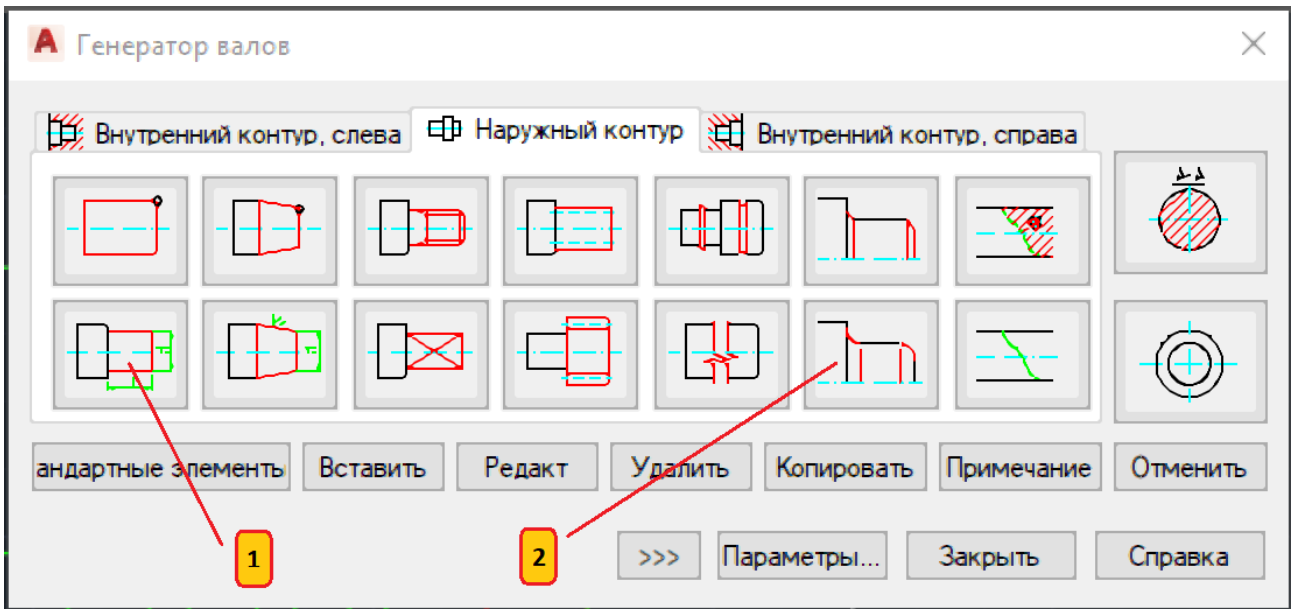
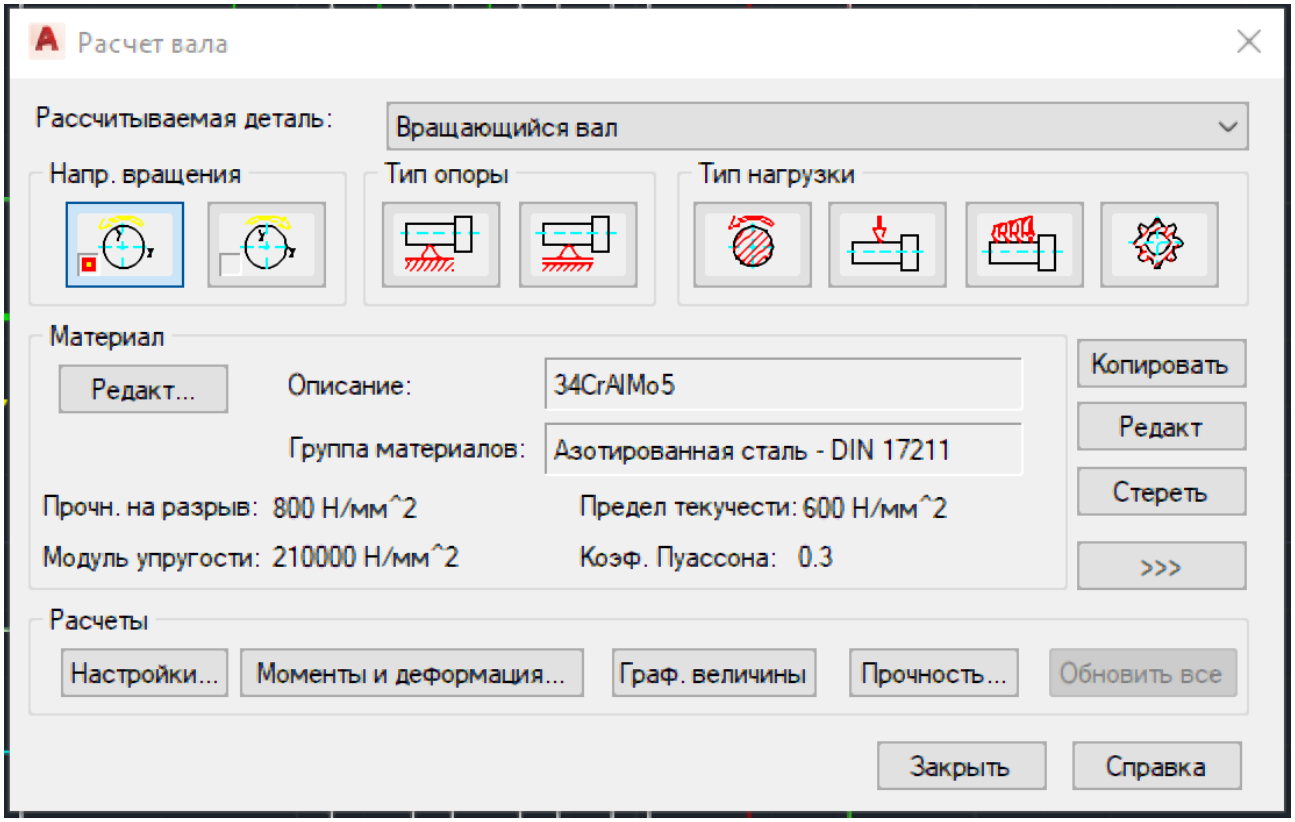


Рисунок 3.1 - Схема для розрахунку валків кліті кварто на міцність і деформацію



а



б

Рисунок 3.2 - Діалогові вікна «Генератор валів» (а) і «Розрахунок валу» (б)

На другому етапі (після створення контура валка) за допомогою діалогового вікна "Розрахунок валу" (рис. 4.2 б) проводиться розрахунок. Вихідними даними для розрахунку валка є: матеріал валка, момент крутіння на робочому валку; сили, що діють на валок у вертикальній і горизонтальній площині.

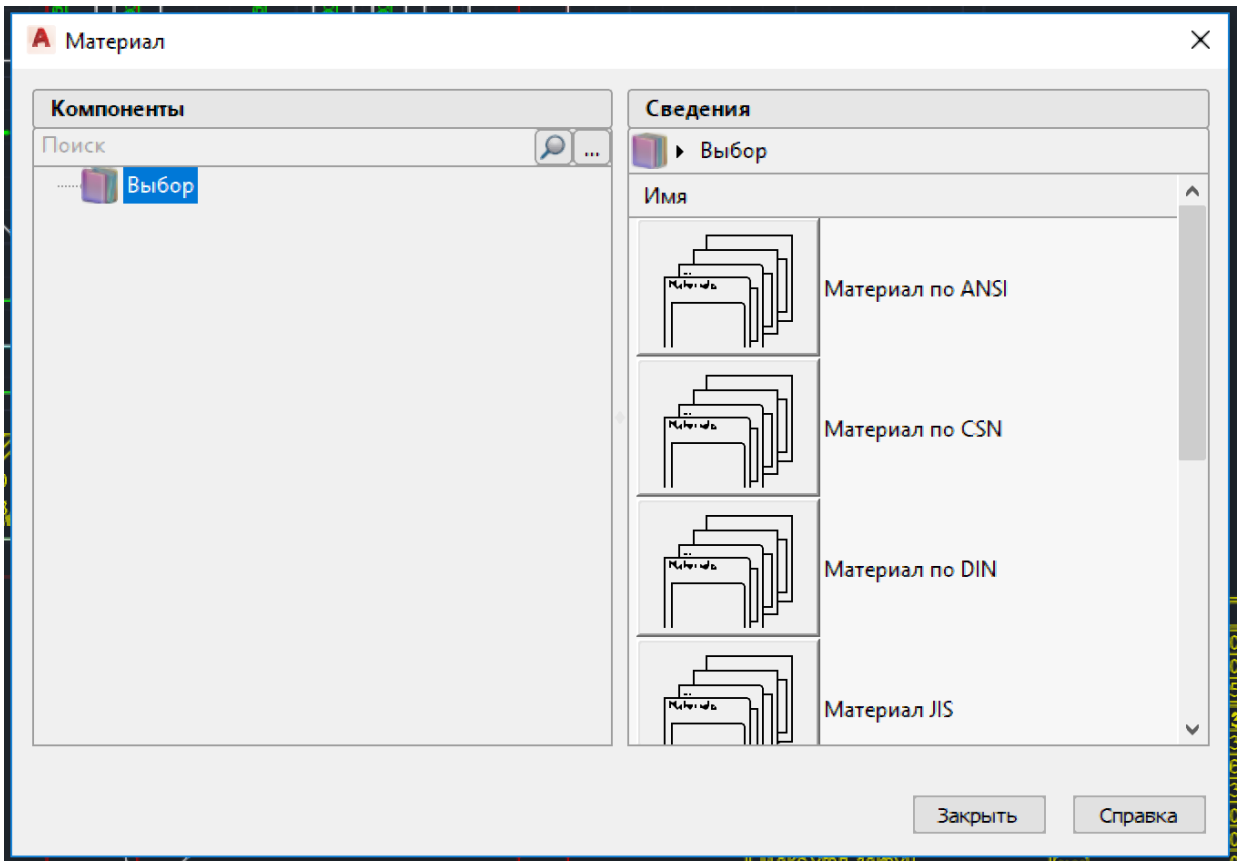
Матеріал валка вибирається за допомогою опції «Редагувати». Відкривається діалогове вікно «Матеріал» (рис. 3.3 а), в якому вибирається стандарт матеріалу. У нашому розрахунку вибирається німецький стандарт DIN. Виводиться вікно з різноманітними марками сталей і інших металів (рис. 3.3 б). Ми вибираємо сталь 34CrAlMo5 (аналог вуглецевої сталі 9Х2 і 9ХФ з підвищеним вмістом хрому і марганцю), що має межу текучості = 600 МПа і межу міцності = 800 МПа.

Виводиться діалогове вікно вибору властивостей матеріалу валка (рис. 3.4), в якому можна відредагувати показники міцності, вид термомеханічної обробки тощо.

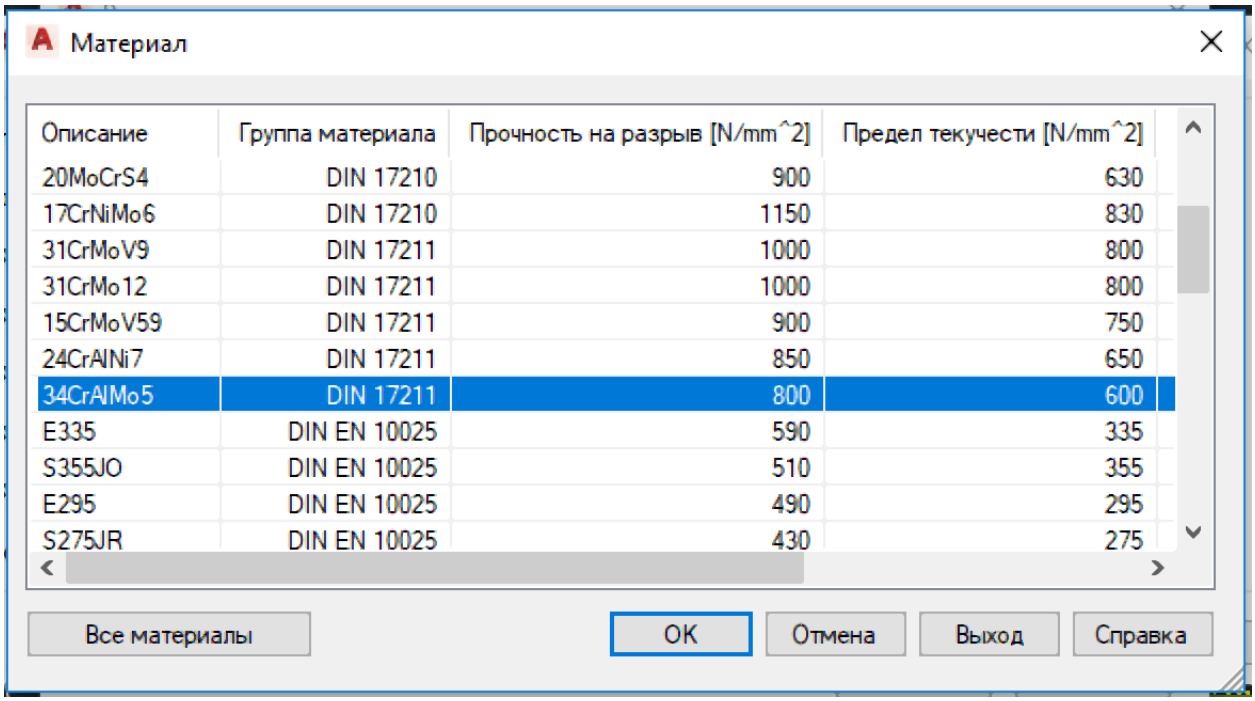
Після цього вибирається тип опор (рис. 3.2 б) і місце їх розташування на валку. Вказуються корисні навантаження. В AutoCAD Mechanical при розрахунку навантаження використовується геометрія креслення. У нашому прикладі навантаження є розподіленим по ширині штаби (рис. 3.1 і 3.5 б), але може застосовуватися і крапкове, зосереджене навантаження (рис. 3.5 а). Вказується крутний момент на валку (рис. 3.5 в) і результат побудови розрахункової схеми виглядає так, як наведено на рис. 4.6 і 4.7.

На заключному етапі проектування валка в AutoCAD Mechanical виконується робоче креслення з виносними елементами, проставляються розміри, позначення, допуски тощо.

Генератор валів автоматично обчислює реакції опор і будує епюри згинальних моментів і напруг. Розрахунок на міцність виконується відповідно до німецького стандарту DIN 743.



а



б

Рисунок 3.3 - Діалогові вікна вибору матеріалу валка

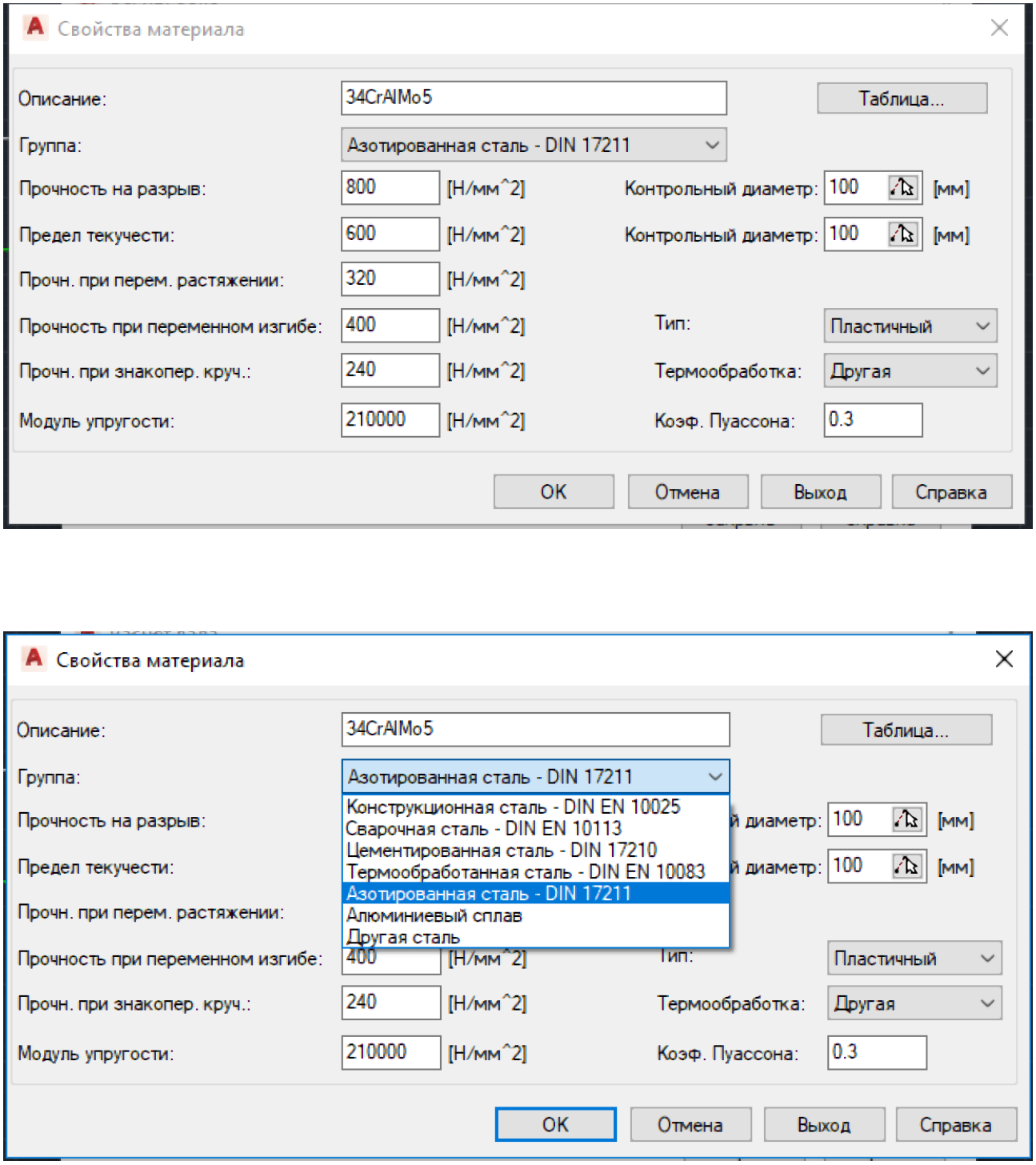
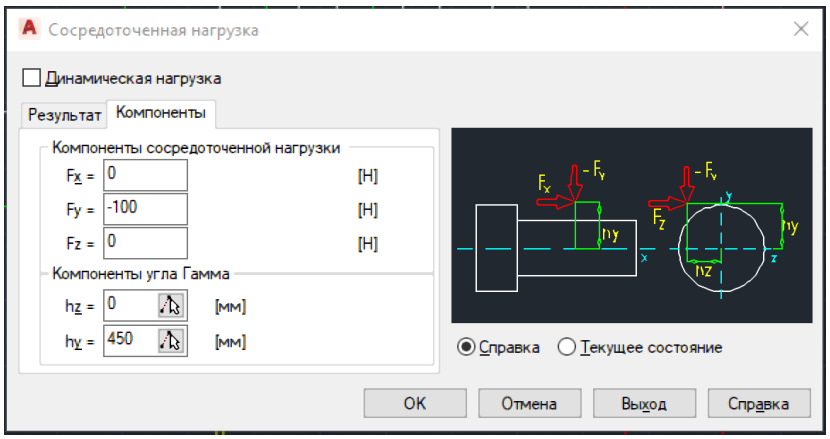
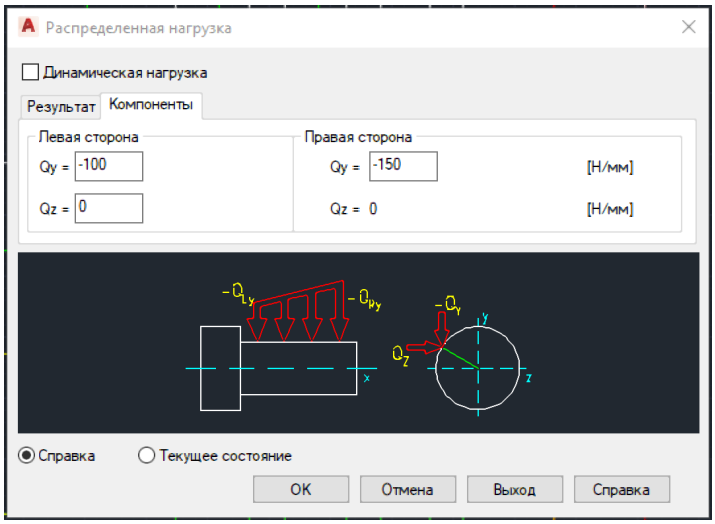


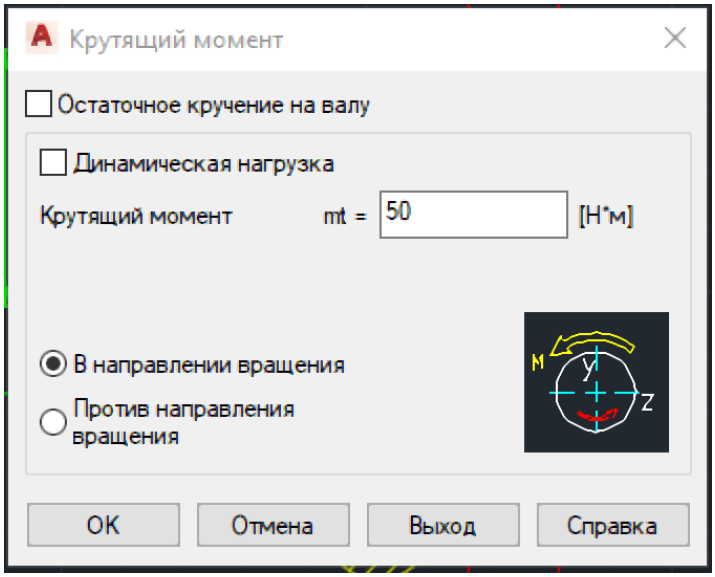
Рисунок 3.4 – Діалогові вікна вибору властивостей матеріалу валка



а



б



в

Рисунок 3.5 – Типи навантажень на валок:

а – зосереджене; б – розподільне; в – крутний момент

Результати розрахунків робочого і опорного валків представлені відповідно на рис. 3.6 і 3.7. По отриманим епюрам визначаються небезпечні перетини валка – по середині бочки і в шийці валка по галтелі (у місці з'єднання шийки і бочки валка). При потрібності уточняється геометрія валка. При цьому генератор валів автоматично перераховує всі дані. На завершальному етапі виконується робоче креслення валка.

Порівнюючи розрахункові дані, приведені в літературі з обчисленими значеннями в AutoCAD Mechanical можна переконатися, що вони мають близькі значення. Так коефіцієнт запасу статичної міцності по межі текучості для опорного валка (крутний момент відсутній) дорівнює 5,3 (рис. 3.7), а в літературі [5] – 5,2 в перетині 1-1. У шийці робочого валка визначений тільки запас міцності при крученні nτ = 6,8 [5]; за нашими даними коефіцієнт запасу міцності з урахуванням кручення і вигину дорівнює (рис. 3.6), що також достатньо [5, стор. 109]. При сумісній дії кручення і вигину сумарна (еквівалентне) напруга в шийці для сталевих валків визначається по формулі (дані узяті на рис. 3.6):

$$\sigma^{р}_{экв.ш} = \sqrt{\sigma^2_{из.ш} + 3 \cdot \tau^2_{кр.ш}} = \sqrt{21,2^2 + 3 \cdot 78,4^2} = 137,4 \text{ МПа}.$$

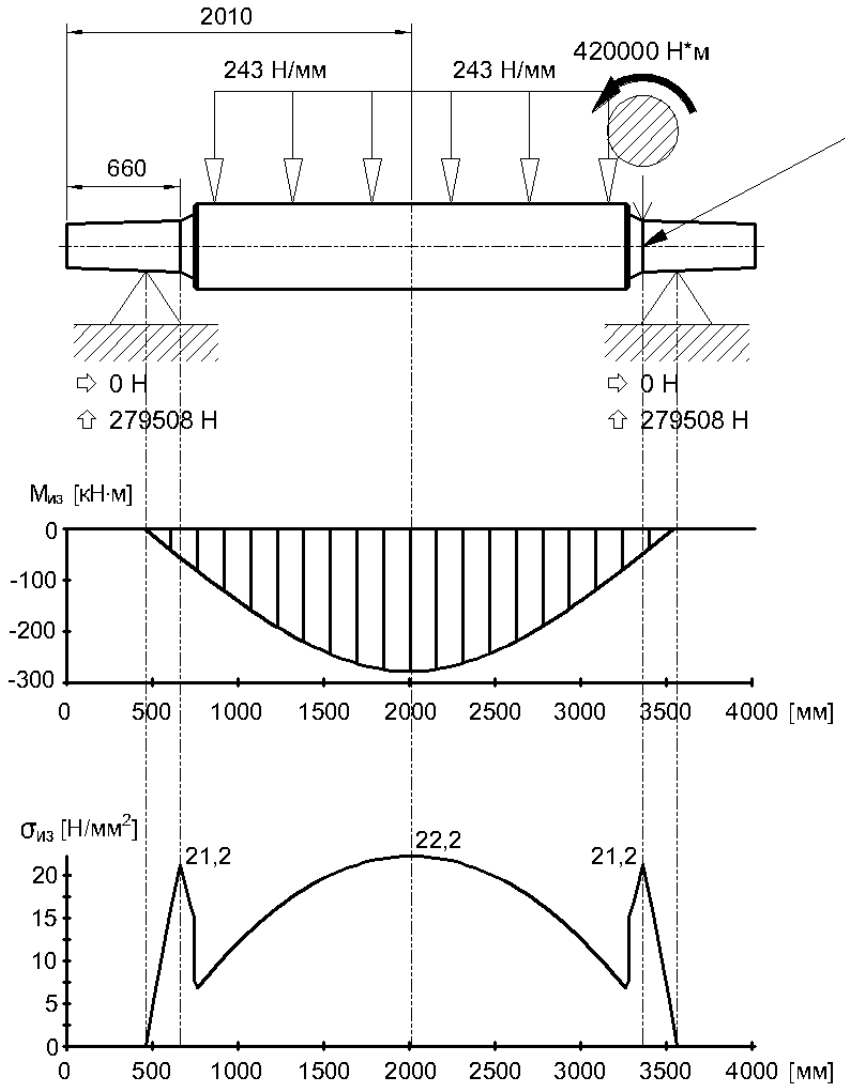
$$n^{р}_{ш} = \frac{\sigma_Т}{\sigma^{р}_{экв.ш}} = \frac{600}{137,4} = 4,4.$$

Визначимо розрахункові коефіцієнти запасу міцності по межі міцності, використовуючи формулу (3.1) і розрахункові донні на рис. 3.6 і 3.7:

у бочці опорного валка: $n^{оп}_{б} = \frac{\sigma_В}{\sigma^{оп}_{из.б}} = \frac{800}{78,3} = 10,2,$

у шийці опорного валка: $n^{оп}_{ш} = \frac{\sigma_В}{\sigma^{оп}_{из.ш}} = \frac{800}{121,5} = 6,6,$

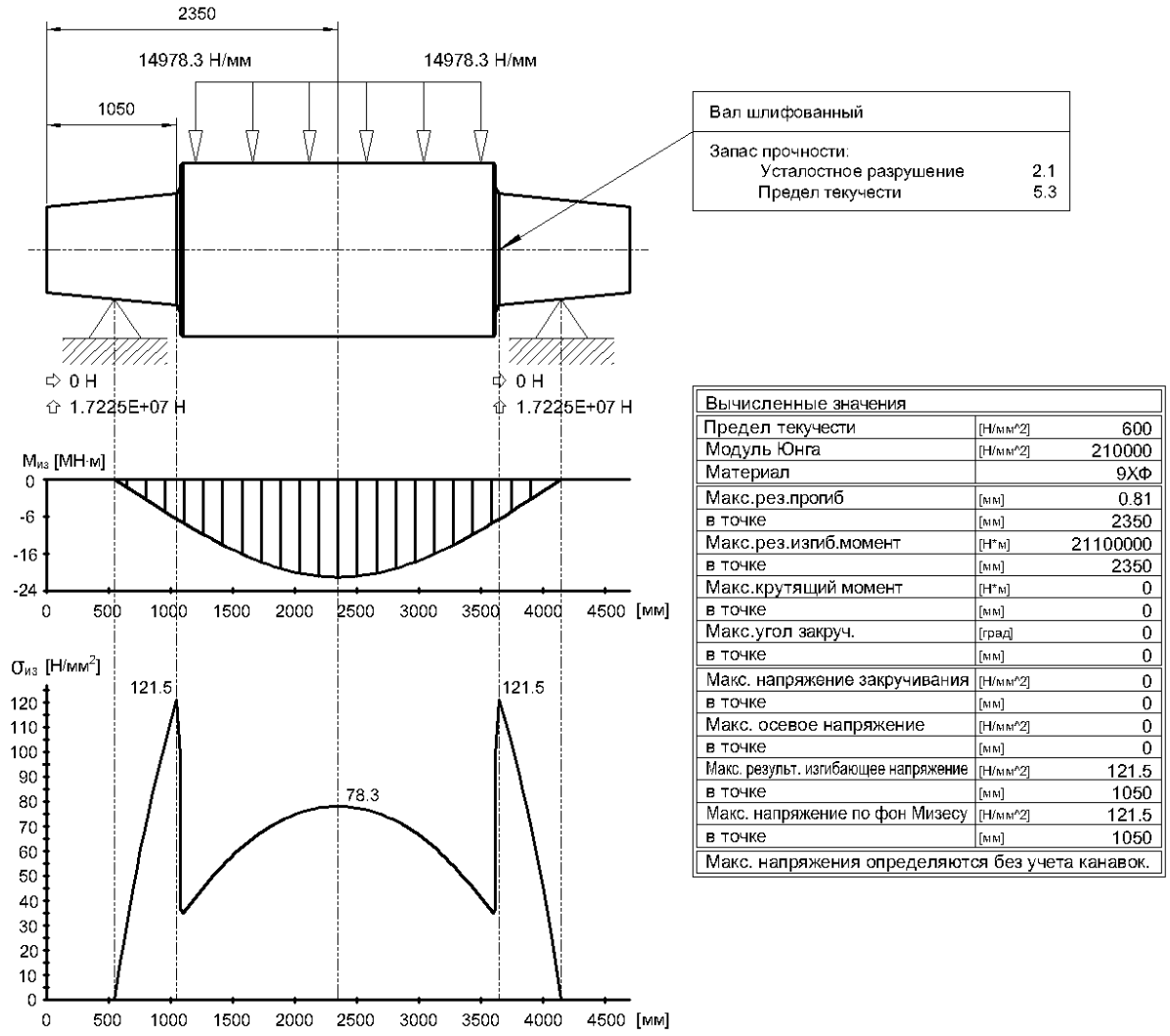
у шийці робочого валка: $n^{р}_{ш} = \frac{\tau_В}{\tau^{р}_{кр.ш}} = \frac{800 \cdot 0,7}{78,4} = 7,1.$



Вал шлифованный	
Запас прочности:	
усталостное разрушение	3.2
предел текучести	4.4

Вычисленные значения		
Предел текучести	[Н/мм^2]	600
Модуль Юнга	[Н/мм^2]	210000
Материал		9Х2
Макс.рез.прогиб	[мм]	0.433
в точке	[мм]	2010
Макс.рез.изгиб.момент	[Н*м]	272521
в точке	[мм]	2010
Макс.крутящий момент	[Н*м]	420000
в точке	[мм]	660
Макс.угол закруч.	[град]	0.162
в точке	[мм]	0
Макс. напряжение закручивания	[Н/мм^2]	78.4
в точке	[мм]	660
Макс. осевое напряжение	[Н/мм^2]	0
в точке	[мм]	0
Макс. результ. изгибающее напряжение	[Н/мм^2]	22.2
в точке	[мм]	2010
Макс. напряжение по фон Мизесу	[Н/мм^2]	137.4
в точке	[мм]	660
Макс. напряжения определяются без учета канавок.		

Рисунок 3.6 – Результати розрахунку робочого валка на міцність і деформацію



Вычисленные значения		
Предел текучести	[Н/мм^2]	600
Модуль Юнга	[Н/мм^2]	210000
Материал		9ХФ
Макс.рез.прогиб	[мм]	0.81
в точке	[мм]	2350
Макс.рез.изгиб.момент	[Н*м]	21100000
в точке	[мм]	2350
Макс.крутящий момент	[Н*м]	0
в точке	[мм]	0
Макс.угол закруч.	[град]	0
в точке	[мм]	0
Макс. напряжение закручивания	[Н/мм^2]	0
в точке	[мм]	0
Макс. осевое напряжение	[Н/мм^2]	0
в точке	[мм]	0
Макс. результ. изгибающее напряжение	[Н/мм^2]	121.5
в точке	[мм]	1050
Макс. напряжение по фон Мизесу	[Н/мм^2]	121.5
в точке	[мм]	1050
Макс. напряжения определяются без учета канавок.		

Рисунок 3.7 – Результати розрахунку опорного валка на міцність і деформацію

Програма AutoCAD Mechanical має можливість враховувати при розрахунках міцності велику кількість концентраторів напружень, різноманітних коефіцієнтів, меж міцності, плинності і втоми при симетричних і несиметричних циклах згинання і крутіння, стану поверхні матеріалу тощо (рис. 3.8), що надає можливість виконувати розрахунки на міцність досить швидко і з великою точністю.

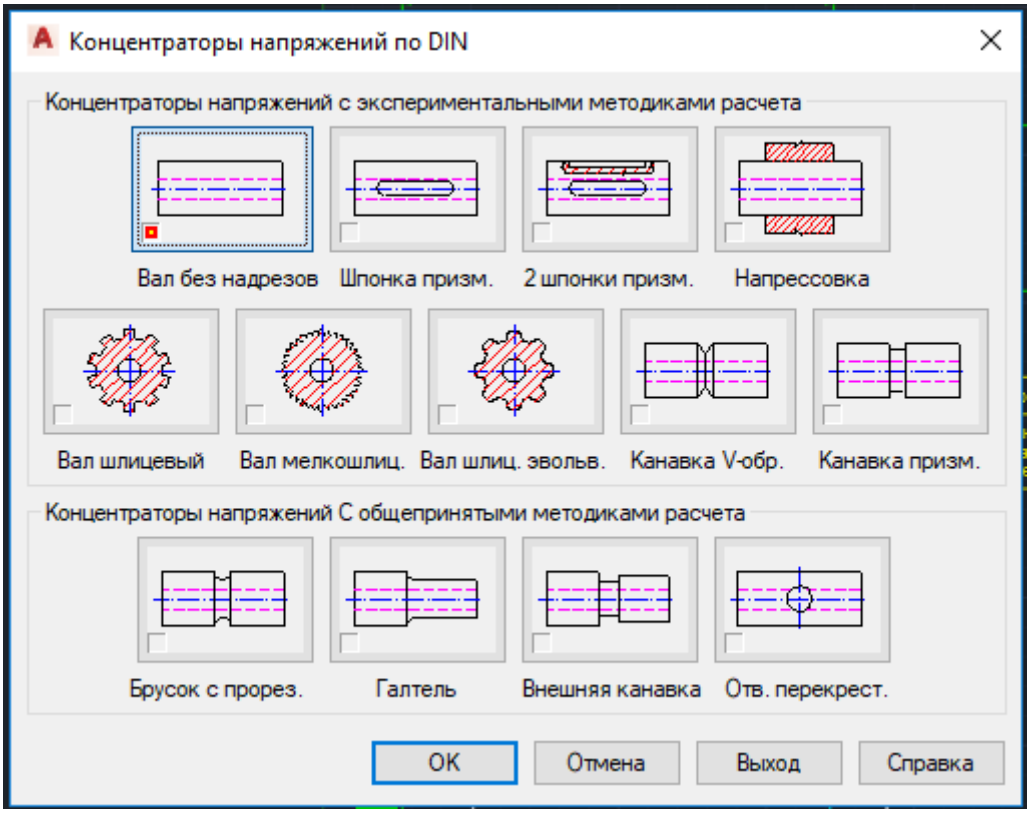


Рисунок 4.8 – Вибір концентраторів напружень в AutoCAD Mechanical при згинанні і крутінні валка

Крім того, AutoCAD Mechanical виконує розрахунок на витривалість (втомну або циклічну міцність) в будь-якому перетині валка. Для робочого і опорного валків коефіцієнт запасу втомної міцності в шийці валка по галтелі (у місці з'єднання шийки і бочки валка) відповідно дорівнює 3,2 і 2,1 (рис. 3.6 і 3.7). Мінімальне допустиме значення цього коефіцієнта 1,3 – 2,5 [6].

Отже, всі отримані коефіцієнти запасу міцності вище допустимого [n]=5, тобто всі елементи валків мають достатню міцність, а найбільш

слабкими елементами валків є шийка в місці з'єднання з бочкою валка. Цей перетин є концентратором напруження.

Прогинання валків впливає на нерівномірність товщини прокатуваної штаби по ширині і на жорсткість прокатної кліті. Прогинання опорного валка, визначене AutoCAD Mechanical (рис. 3.7 і 3.9) складає по середині бочки 0,81 мм, обчислене в літературі – 0,86 мм [5], що достатньо близько.

AutoCAD Mechanical надає можливість виконувати також оцінку напружено-деформованого стану металу методом скінчених елементів (МСЕ) [19]. Ці результати можуть бути використані для удосконалення конструкції прокатного валка. Мета методу – дати уявлення про розподіл напружень і деформацій. На рис. 3.9 (а-в) представлені результати розрахунку опорного валка МСЕ, які показують, що локалізація напружень спостерігається на поверхні валка, в опорах і по галтелі, в місці з'єднання шийки і бочки валка. Умовно опори валка показані точковими, тому і напруження в них максимальне. На практиці валки встановлені на підшипниках і навантаження розподіляється по всій ширині підшипникового вузла, що можна врахувати при розрахунках в AutoCAD Mechanical.

Також було застосовано сучасну систему тривимірного моделювання для конструювання робочого валка стану кварто відповідно до схеми, зображеної на рис. 3.1. Тривимірне моделювання надає можливість проектувати і бачити деталь в об’ємі, скоротити потребу у коштовних фізичних прототипах, прогнозуючи характеристики виробів за допомогою цифрових прототипів ще до виготовлення деталі на виробництві.

За допомогою розрахунків лінійних і нелінійних напружень можливо досліджувати напруження, деформації, зміщання (прогинання валка), поздовжні і поперечні навантаження, що виникають внаслідок прикладення статичних зусиль. Це надає можливість прогнозувати великі і залишкові деформації, а також залишкові напруження.

Модель аналізу напруження виконувалася на основі 3D – ескізу робочого валка, зображеного на рис. 4.10.

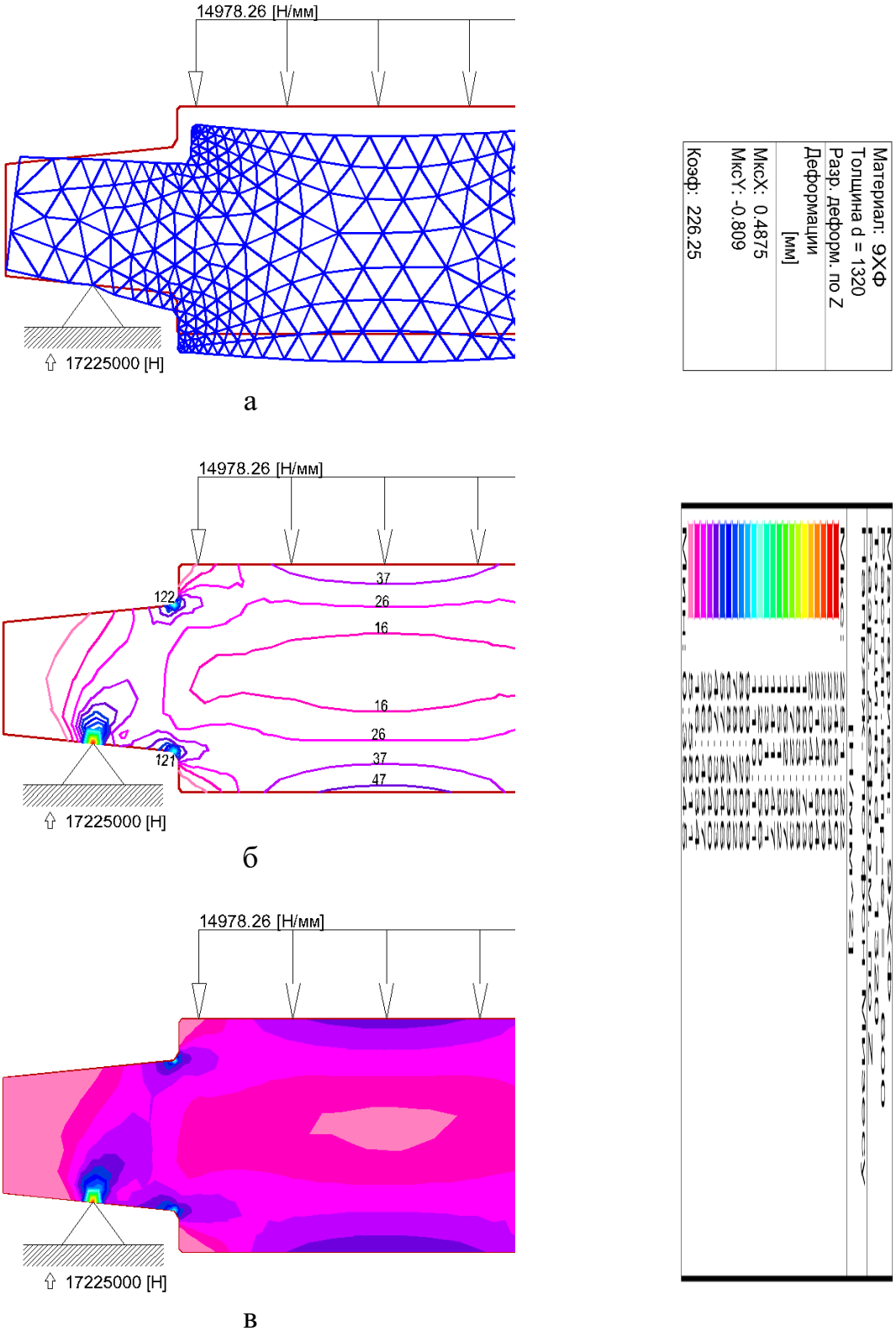


Рисунок 3.9 – Розрахунок методом скінчених елементів опорного валка на деформацію (а); ізолінії (б) і ізообласті (в) напружень у валку

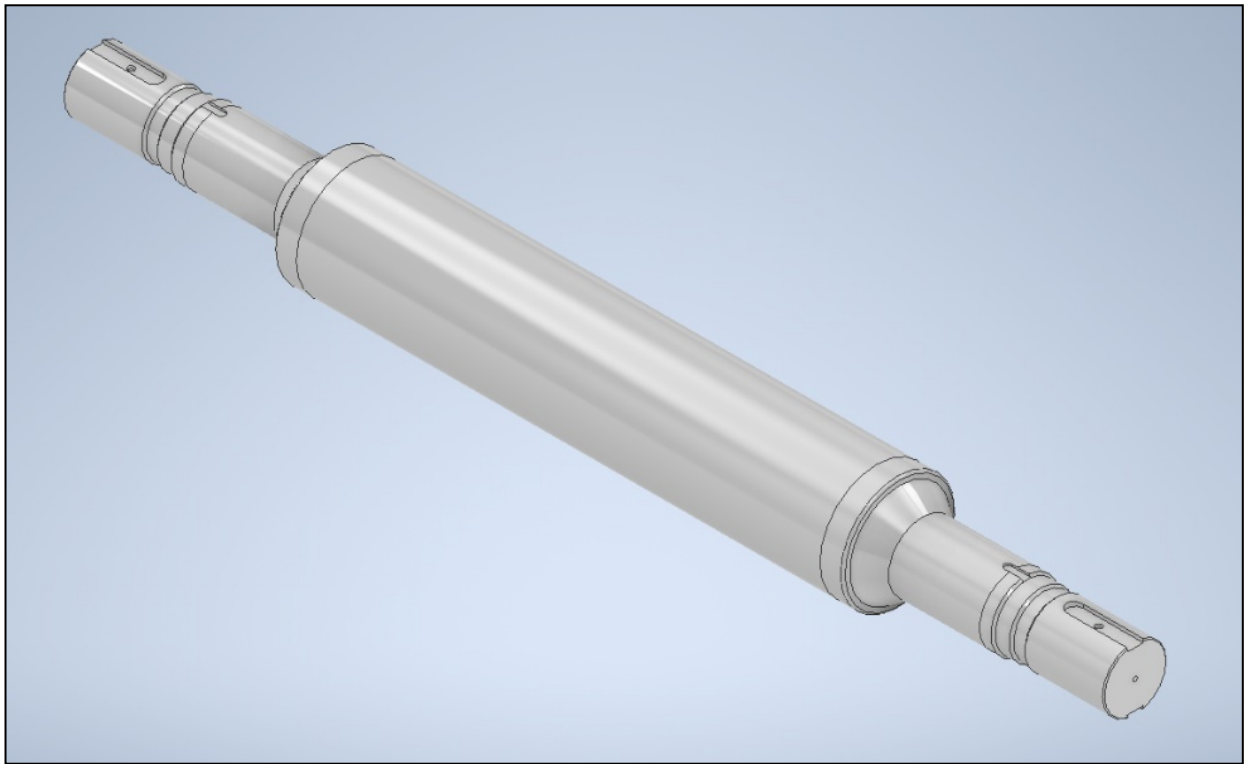


Рисунок 3.10 – Модель робочого валка відповідно до рис. 4.1

На ширину штаби 2300 мм діє сила 550 кН, реакція в опорних підшипниках, які розташовані на відстані 3100 мм відповідно 275 кН [5].

На рис. 3.11 наведено напруження, що виникають у робочому валку при прокатуванні. Як видно з рис. 3.11, максимальні напруження виникають у шийках валка (24,56 MPa) і у центральному перетині валка (51,52 MPa), що приблизно збігається з напруженнями, отриманим у вищенаведених розрахунках (рис. 3.6), а також у літературі [5].

На рис. 3.12 наведено прогинання робочого валка при прокатуванні, яке становить 0,61 мм, що приблизно збігається з літературними даними [5]. Для компенсації впливу прогинання на товщину штаби, що викликає різнотовщинність, один з робочих валків потрібно зробити випуклим (шліфувати з випуклістю 0,3 – 0,5 мм) [5].

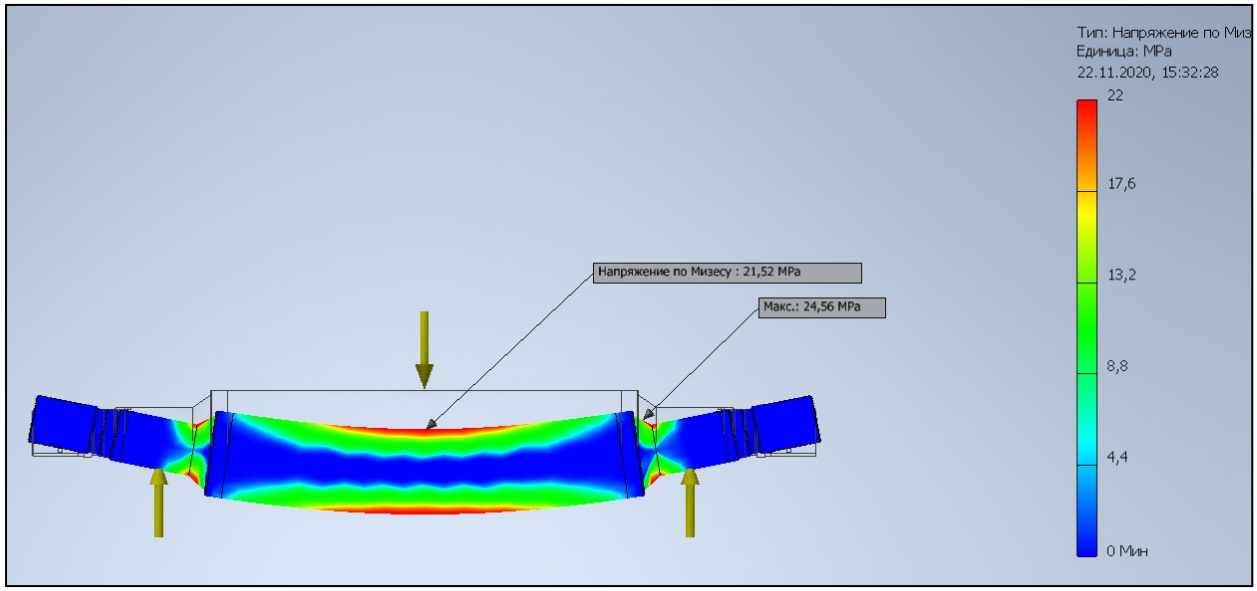
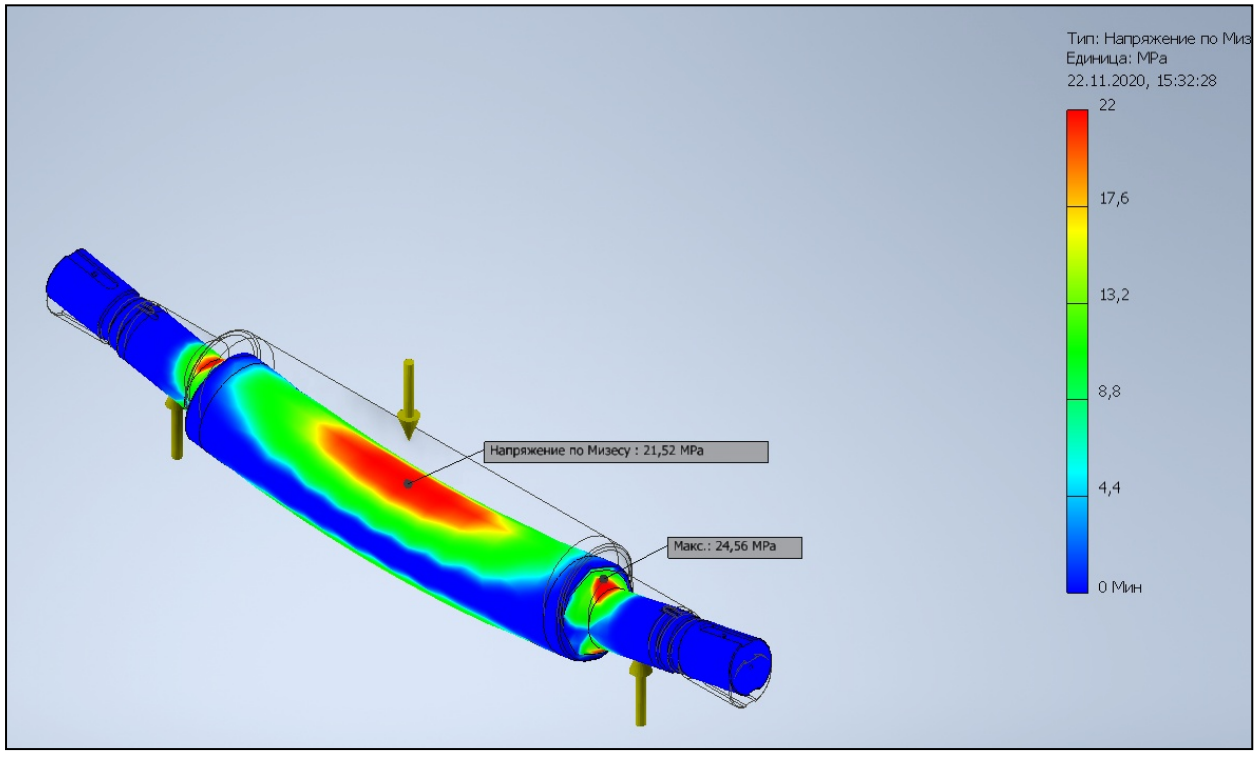


Рисунок 3.11 – Напруження, що виникають у робочому валку при прокатуванні



Продовження рис. 3.11

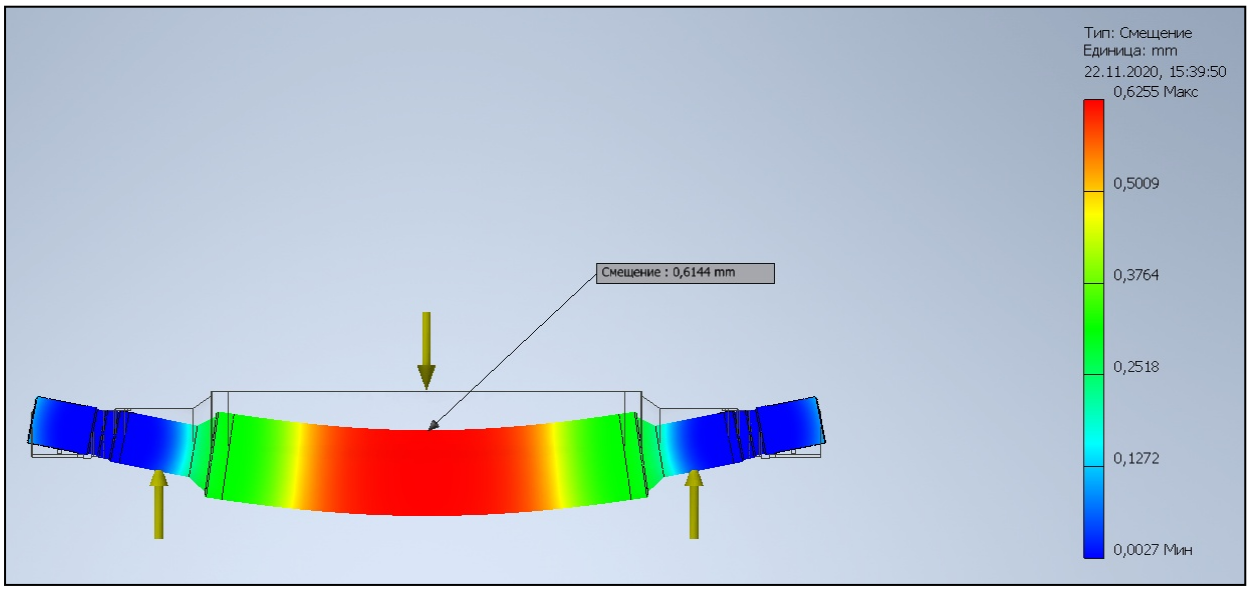


Рисунок 3.12 – Прогинання (зміщення) робочого валка при прокатуванні

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

ЦХП - 1 відноситься до IIб категорії за ГОСТ 12.1.005-88, тому що витрат енергії робітника становить приблизно 178 ккал/год.

Слід зазначити, що умови роботи вальцювальників на безперервному стані холодної прокатки «1680» ускладняється тим, що їхня робоча зона розташована в безпосередній близькості до стана і незахищена закритою кабіною. Через застосування постійно, що розширюється асортиментів, мастил, необхідні для забезпечення високошвидкісного процесу, у повітрі робочої зони можливе надходження низьке- і високомолекулярних жирних кислот, окису вуглецю, хлору, аерозолі масла. Це вимагає устаткування безперервного стана холодної прокатки «1680» місцевою витяжкою, вентиляцією. Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, пульти керування, шумозахисні кабіни), а також виключати можливість:

- ведення процесу при несправності кінцевих вимикачів, пристроїв заземлення, огороджень робітників;
- вимикання стана при перебуванні працюючих у небезпечній зоні біля стана.

У запобігання травмування повинні бути виключені всі роботи з ручним завданням або іншими операціями на стані. Спостерігаються випадки травмування частинами валків, які відлітають, і ін. частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їхнє руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

Небезпека для органів дихання. Теплоізоляційні матеріали

На старих виробничих установках широко застосовуються азбест та інші мінеральні волокна, які становлять серйозну загрозу для здоров'я, оскільки містять канцерогенні речовини, небезпечні при вдиханні.

Для мінімізації ризиків рекомендується:

- проводити обстеження підприємства сертифікованими фахівцями та розробляти план запобігання впливу азбесту;
- своєчасно ремонтувати або видаляти пошкоджені та зруйновані теплоізоляційні матеріали;
- усі роботи з матеріалами, що містять азбест або інші небезпечні волокна, виконувати лише спеціально навченим персоналом із дотриманням установлених процедур безпеки;
- під час будівництва нових об'єктів уникати використання азбестовмісних матеріалів;
- застосовувати захисні покриття та ізоляцію для запобігання поширенню волокон у виробничому середовищі.

Під час плавлення та розливання металу працівники можуть зазнавати впливу пилу й газів, що містять важкі метали. На доменних, конвертерних і коксових установках існує ризик впливу оксиду вуглецю (CO). На коксових батареях додатково можуть бути присутні оксиди сірки, леткі органічні сполуки, аміак, ароматичні вуглеводні, нафталін і поліциклічні ароматичні вуглеводні.

Основні заходи захисту:

- виявлення та ізоляція джерел утворення пилу й газів;
- проєктування та встановлення ефективних систем вентиляції;
- очищення повітря перед його викидом в атмосферу.

На ділянках утворення пилу та газів необхідно встановлювати місцеві витяжні системи вентиляції, особливо біля доменних, конвертерних та електродугових печей.

Для захисту працівників рекомендується:

- облаштовувати операторські та виробничі приміщення системами кондиціювання й очищення повітря;
- передбачати окремі приміщення для приймання їжі та дотримання особистої гігієни;
- забезпечувати персонал роздягальнями для окремого зберігання робочого та особистого одягу, а також душовими кімнатами;
- регулярно проводити медичні огляди працівників;
- у місцях можливого впливу чадного газу (CO) встановлювати системи контролю та аварійної сигналізації;
- забезпечувати аварійні бригади переносними газоаналізаторами та засобами подачі чистого повітря.

Хімічні небезпеки

На металургійних комбінатах працівники можуть контактувати з небезпечними хімічними речовинами, особливо на коксових батареях та установках очищення коксового газу. Найбільш небезпечними є нафталін, важкі масла та ароматичні вуглеводні.

Небезпека ураження електричним струмом

Високопотужне електрообладнання, яке використовується на багатьох виробничих ділянках, створює ризик ураження електричним струмом і потребує суворого дотримання правил електробезпеки.

Шум

Високі рівні шуму можуть виникати під час:

- завантаження та розвантаження сировини й готової продукції;
- роботи доменних, конвертерних та електродугових печей;
- безперервного лиття металу;
- роботи прокатних станів та іншого технологічного обладнання.

Небезпека обвалення та засипання

Ризик обвалення або засипання існує на складах сипучої сировини, а також під час проведення ремонтних і технічних робіт, особливо всередині великих бункерів та резервуарів.

Для запобігання нещасним випадкам рекомендується:

- забезпечувати надійність конструкцій бункерів і ємностей;
- дотримуватися безпечних відстаней між робочими зонами та маршрутами руху транспорту;
- розробляти спеціальні інструкції та процедури безпеки для виконання робіт усередині бункерів;
- регулярно навчати персонал правилам безпечної роботи.

Пожежна та вибухова небезпека

Під час роботи з розплавленим металом існує високий ризик вибухів і важких термічних опіків, особливо у випадках потрапляння води або вологи в металевий розплав.

Основні заходи безпеки:

- забезпечувати повну сухість усіх матеріалів та інструментів, що контактують із розплавленим металом;
- розміщувати обладнання таким чином, щоб трубопроводи горючих газів, кисневі магістралі та легкозаймисті матеріали були максимально ізольовані один від одного;
- захищати газові та кисневі комунікації під час ремонтних робіт;
- використовувати електрообладнання, яке відповідає вимогам пожежної безпеки;
- розробляти та підтримувати в актуальному стані плани аварійного реагування.

Також зазначається, що вугілля здатне до самозаймання внаслідок природного окиснення, а вугільний пил може утворювати вибухонебезпечні суміші. Для зменшення ризику рекомендується скорочувати строки зберігання вугілля та не допускати його нагрівання від зовнішніх джерел тепла.

4.2 Розрахунок виробничої програми прокатного стану

Розрахунок виробничої програми прокатного стану проводиться за заводськими даними і за проектом [21].

Таблиця 4.1 - Початкові дані

Календарний час	365 діб
Тривалість капітального ремонту	6 діб
Тривалість ППР	24 доби
Поточні простої	15 %
Відсоток прокату марки сталі на стані	3 %
Годинна продуктивність стану	115,1 т/ рік
Середньогодинна продуктивність	123 т/ рік
Годинна продуктивність за проектом	117 т/ рік
Середньогодинна продуктивність за проектом	125 т/ рік

Визначаємо нормальний час роботи прокатного стана

$$НВ_{сут\ б} = КВ – КР, діб.$$

$$НВ_{сут\ б} = 365 – 6 = 335 діб.$$

Визначаємо нормальний час в годинах

$$НВ_{час\ б} = НВ_{сут\ б} \cdot 24$$

$$НВ_{час\ б} = 335 \cdot 24 = 8040 год.$$

Визначаємо поточні простої в годинах

$$ТП_{час\ б} = (НВ_{час\ б} \cdot \%ТП)/100\%$$

$$ТП_{час\ б} = (8040 \cdot 15)/100 = 1206 год.$$

Визначаємо фактичний час роботи прокатного стану

$$ФВ_б = НВ_{час\ б} - ТП_{час\ б}$$

$$ФВ_б = 8040 - 1206 = 6834 год.$$

Визначаємо фактичний час роботи прокатного стану за маркою сталі

$$ФВ_{б.м} = \frac{ФВ_б \cdot \%ФВ_м}{100\%}, год.$$

$$ФВ_{б.м} = 6834\ 3{:}100 = 205{,}02 год.$$

Річний об'єм виробництва, який визначається

$$V_б = П_{ср.час} \cdot ФВ_б$$

$$V_б = 123 \cdot 6834 = 840582 \text{ т.}$$

Зокрема: річний об'єм виробництва по марці сталі

$$V_{б.м} = П_{ср\ час\ пр} \cdot ФВ_{пр\ м}$$

$$V_{б.м} = 115{,}1 \cdot 205{,}02 = 23597{,}80 \text{ т.}$$

Розрахунок виробничої програми за проектом.

В результаті впровадження заходів щодо скорочення поточних простоїв, останні скоротилися на 61 годину.

$$ТП_{пр} = ТП_б - \Delta ТП$$

$$ТП_{пр} = 1206 - 61 = 1145 \text{ годин}$$

Визначаємо фактичний час за проектом

$$ФВ_{пр\ м} = НВ - ТП_{пр}, \text{ годин}$$

$$ФВ_{пр\ м} = 8040 - 1145 = 6895 \text{ годин}$$

$$ФВ_{пр.м} = \frac{ФВ_{пр} \cdot \%ФВ_м}{100\%}, \text{год.}$$

$$ФВ_{пр.м} = 6895\ 3{:}100 = 206{,}85 \text{ год.}$$

Річний об'єм за проектом

$$V_{пр} = П_{ср\ час\ пр} \cdot ФВ_{пр}$$

$$Vпр = 125 \cdot 6895 = 861875 \text{ т}$$

Зокрема річний об'єм по марці сталі

$$V_{пр.м} = П_{час} \cdot ФВ_{пр.\ м}$$

$$V_{пр.м} = 117 \cdot 206{,}85 = 24203{,}8 \text{ т}$$

Коефіцієнт зростання об'єму виробництва, який визначається

$$К_р = V_{пр}/V_б$$

$$К_р = 861875{:}840582 = 1{,}025$$

Коефіцієнт зростання об'єму виробництва, по марці сталі

$$Кр = Vпр/Vб$$

$$К_{рм} = 24201{,}45{:}\ 23597{,}80 = 1{,}025$$

Приріст обсягів виробництва

$$\Delta V = V_{пр} - V_б$$

$$\Delta V = 861875 - 840582 = 21293 \text{ т}$$

Приріст обсягів виробництва досягається за рахунок:

Зокрема: приріст обсягів виробництва по марці сталі

$$\Delta V_м = V_{пр.м} - V_{б.м}$$

$$\Delta V_м = 358971,12 - 350085,036 = 8886,084 \text{ т}$$

1) підвищення фактичного часу роботи в результаті зниження поточних простоїв

$$\Delta ФВ = ФВ_{пр} - ФВ_б, \text{ год.}$$

$$\Delta ФВ = 6895 - 6834 = 61 \text{ год.}$$

У тому числі за маркою сталі

$$\Delta ФВ_м = ФВ_{пр.м} - ФВ_{б.м}, \text{ час}$$

$$\Delta ФВ_м = 206,85 - 205,02 = 1,85 \text{ годин}$$

Приріст обсягів виробництва за рахунок підвищення ΔФВ

$$\Delta V = \Delta ФВ \, П_{ср.час}, \text{ т}$$

$$\Delta V = 61 \cdot 123 = 7503 \text{ т}$$

У тому числі за маркою сталі

$$\Delta V_м = \Delta ФВ_м \cdot П_{час}, \text{ т}$$

$$\Delta V_м = 1,85 \cdot 115,1 = 213 \text{ т}$$

2) підвищення середньогодинної продуктивності

$$\Delta П_{ср\ час} \cdot = \Delta П_{ср.час\ пр} - \Delta П_{ср.час\ б}, \text{ т/рік}$$

$$\Delta П_{ср\ час} \cdot = 125 – 123 = 2 \text{ т/ рік}$$

Приріст годинної продуктивності по марці сталі

$$\Delta П_{час} = \Delta П_{час\ пр} – \Delta П_{час\ б}, \text{ т/рік}$$

$$\Delta П_{час} = 117- 115,1= 1,9 \text{ т/рік}$$

Приріст об'єму виробництва за рахунок збільшення середньогодинної продуктивності

$$\Delta V\Delta П_{ср\ час} = \Delta П_{ср\ час} \cdot ФВ_{пр}, \text{ т}$$

$$\Delta V\Delta П_{ср\ час} = 2 \cdot 6895 = 13790 \text{ т}$$

Приріст об'єму виробництва за рахунок збільшення середньогодинної продуктивності за маркою сталі

$$\Delta V\Delta П_{час} = \Delta П_{час} \cdot ФВ_{пр.м}, \text{ т}$$

$$\Delta V\Delta П_{час} = 1,9 \cdot 206,85 = 393 \text{ т.}$$

Перевірка

$$\Delta V_{пр} - V_{б} = \Delta V\Delta ФВ + \Delta V\Delta П_{ср\ час}$$

$$861875 - 840582 = 7503 + 13790$$

$$21293 = 21293$$

$$0 = 0$$

За наслідками розрахунку складаємо таблицю розрахунку виробничої програми прокатного стану.

Таблиця 4.2 - Розрахунок виробничої програми прокатного стану

Найменування показників	Од. вим.	По вихідним, даним	По проекту	Відхилення		
				усього	за рахунок часу	за рахунок продукт.
Календарний час	доб.	365	365			
Капітальний ремонт	доб.	6	6			
ППР	доб.	24	24			
Номінальний час	доб.	335	335			
Номінальний час	година	8040	8040			
Поточні простої	%	15	14			
Поточні простої	година	1206	1145	61		
Фактичний час	година	6834	6895	61		
Фактичний час за маркою сталі	година	205,02	206,85	1,85		
Середньогодинна продуктивність	т/рік	123	125	2		
Годинна продуктивність	т/рік	115,1	117	1,9		
Річний об'єм виробництва	т	840582	861875	21293	7503	13790
Річний об'єм виробництва по марці сталі	т	23597,8	24203,8	606	213	393
$К_{р.м}$			1,025			

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У загальній частині роботи наведена технологія виробництва холоднокатаних штаб в цеху холодної прокатки ЦХП меткомбінату «Запоріжсталь». Розглянуто основні технічні характеристики обладнання цеху.

2. У розрахунковій частині виконано дослідження і розрахунок енергосилових параметрів при холодному прокатуванні тонких штаб. Досліджено вплив коефіцієнта тертя, діаметра валків і натягання штаби на величину і характер розподілу контактних напружень в осередку деформації.Розрахунки випередження і швидкості виходу штаби з валків показали, що останні підвищуються з зростанням переднє натягнення штаби.

3. У механічній частині виконано розрахунок валків кліті кварто на міцність і деформацію. Отже, робота кліті проходитиме без перевантажень, а власне технологічний процес прокатування без збоїв і поломок.

4. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» виконано аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища та оцінку факторів виробничого і трудового процесу на робочому місці вальцювальника.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Василєв Я. Д., Мінаєв О. А Теорія поздовжньої прокатки. *Підручник*. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.

2. Ніколаєв В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя: ЗДІА, 2010. 320 с.

3. Ніколаєв, В.А. Горяча прокатка листів та штаб. Запорожье: ЗДІА, 2013. 169 с.

4. Клименко, П.Л. Зміцненя сталі та кольорових металів при холодній та гарячій деформації. Днепропетровск: Пороги, 2011. 187 с. ISBN 978 617 518 133 1.

5. Cook, P.M. The real curves, stress rate of deformation for the steels by reduction. The Institution of Mechanion Engineer, 1957. P. 75 77.

6 Зюзін, В.И. Визанчення Определение сопротивления деформации сталей при горячей прокатке / В.И. Зюзин // Труды ВНИИМЕТМАШ. – 1963. № 8. – С. 38 73.

7. Зюзин В.И. Визначення опору деформації методом термомеханічних коефіцієнтів. *Труди ВНИИМЕТМАШ*,1963. № 8. С. 74 89.

8. Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С. Аналітична залежність опору деформації сталей та сплавів від хімічного складу. Сталь, 1972. №6. С.522 523.

9. Laasraoui A, Jonas J. Prediction of steel flow stresses at high temperature and strain rates. Metall. Trans. A, 1991. No. 22. P. 1545 1558.

10. Moreira A., Junior J., Balancin O. Prediction of Steel Flow Stresses under Hot Working Conditions . Materials Research, 2005. Vol. 8, No. 3. P. 309 315.

11. Яковченко А.В., Пугач А.А., Ивлева Н.І. Аналіз точності відомих методів розрахунку напруга перебігу металу в залежності від хімічного

складу сталі. Вестник Приазовского государственного технического университета, 2011. № 2(23). С. 69 80.

12. Голінько В.І. Основи охорони праці. *Підручник*. М-во освіти і науки України Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с.

13. Чернявська В.О., Дуброва Н.Й. Основи безпечної праці. *Навч. посіб. для здобувачів проф. (проф.-техн.) освіти*. Київ: ТОВ «ПРОПАПІР», 2023. 240 с. ISBN 978-617-95300-0-5.