

В.І. Стеблюк, д-р техн.наук, проф., В.Л. Калюжний, канд.техн.наук, доц.,
О.В. Калюжний, канд.техн.наук, О.О. Борщаговська, студ.
НТУ України „Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ В ПРОЦЕСАХ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

На примерах моделирования процессов высадки изделий методом конечных элементов показана возможность прогнозирования качества изделий на стадии проектирования технологических процессов

On the examples of upset processes modeling by the finite elements method possibility of quality prognostication on the stage of designing production methods is shown

Холодне об'ємне штампування (ХОШ), в порівнянні з гарячим об'ємним штампуванням, дозволяє отримувати з великою продуктивністю вироби високої точності, шорсткості поверхонь. Коефіцієнт використання металу досягає значень 0,9-1. Завдяки зміцненню і підвищенню механічних властивостей здеформованого металу при холодній деформації відкриваються можливості заміни марки матеріалу виробів на більш дешеві без зміни службових характеристик виробів. Однак визначення геометричної форми виробів, виявлення зміцнення здеформованого металу в процесах ХОШ в теперішній час в основному базується на виробничому досвіді та експериментальних даних [1]. Розроблення нових технологічних процесів ХОШ потребує доопрацювання їх трудомісткими та затратними експериментальними роботами. На кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ"КПІ" створений спеціалізований пакет прикладних програм для моделювання методом скінчених елементів в пружно-пластичній постановці холодної формозміни металів в процесах холодного об'ємного та листового штампування. Шляхом моделювання процесів на стадії проектування технологій є можливість визначати параметри, які забезпечують отримання необхідної форми виробів, а також заданих властивостей здеформованого металу.

Наведемо можливості прогнозування якості виробів в в процесах ХОШ на прикладах моделювання процесів висаджування.

Моделювання процесів висаджування виробів кріплення з подовженим стержнем.

На рис. 1 показане креслення виробу кріплення з подовженим стержнем, який використовується в металевих конструкціях. Особливістю даного виробу є умови забезпечення механічних характеристик в області переходу головки в стержень: межа умовної течії $\sigma_{0,2}$ повинна бути не менше 350 МПа.

По кресленню виробу був визначений об'єм металу і розраховані розміри вихідної заготовки: діаметр 21,75 мм і висота 270 мм. На рис. 2 показана розрахункова схема висаджування, в силу симетрії наведена її половина. Заготовка 1, яка розподілена на восьмивузлові ізопараметричні скінчені елементи, встановлена в матриці 2, висаджуванню підлягає частина заготовки висотою 29 мм. Середній ступінь деформації

в даному випадку, згідно з розрахунковою схемою, складає: $\epsilon=(29-11)/29=0,62$
 Геометрична форма матриці 2 відповідає розмірам головки виробу. Нижній торець заготовки спирається на виштовхувач. На верхній торець заготовки зусилля

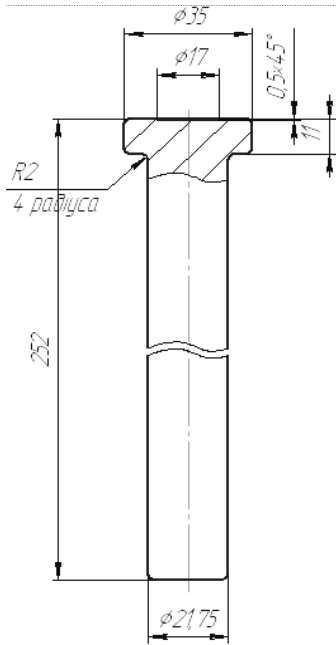


Рис. 1. Креслення виробу

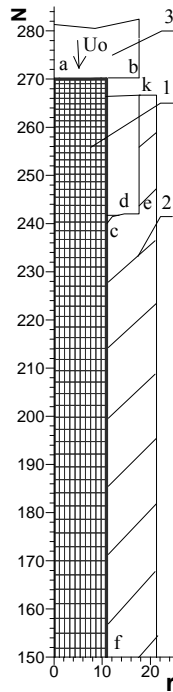


Рис. 2. Розрахункова схема

прикладається за допомогою пуансона 3. Процес висаджування розподіляли на певну кількість кроків навантаження. Навантаження пуансоном моделювалась шляхом прикладання крокових переміщень U_o в вузлах скінчених елементів в напрямку вісі z : спочатку в вузлах на поверхні заготовки радіусом 8,5 мм, а потім в вузлах іншої частини заготовки, які входили в контакт з поверхнею пуансона по мірі висаджування. Поверхні деформуючого інструмента (ab , cd , de , ek і fc) рахувалися абсолютно жорсткими. Моделювання виконували для висаджування відпалених заготовок із сталі 20. Діаграму дійсних напружень для даної сталі [2]

апроксимували залежністю $\sigma_s=\sigma_{0,2}+670\cdot\epsilon^{0,55}$. Умовна межа течії металу в вихідному стані $\sigma_{0,2}=260$ МПа. Коефіцієнти для апроксимації діаграми пластичності для сталі 20[3] по формулі Г.Д. Деля: $\lambda_p=4,2$ при $P\sigma = -1$, $\lambda_p=2,4$ $P\sigma =0$. Тертя враховували для змащення фосфатування з омилюванням. Коефіцієнт тертя 0,08.

В результаті моделювання встановлені силовий режим висаджування та питомі зусилля на оснащенні при зміщенні пуансона на 18 мм. На рис. 3 показана залежність зусилля висаджування від переміщення пуансона. Спочатку зусилля зростає поступово (до 590 КН) на протязі переміщення пуансона 15 мм. При досягненні металу, що деформується, поверхні матриці починається суттєве збільшення зусилля до величини 1445 КН в кінці висаджування. По графіку можливо визначити роботу деформації, що дуже важливо для реалізації процесу на кривошипному обладнанні.

Питомі зусилля на деформуючому інструменті при висаджуванні оцінювали по розподілу відносних нормальних напружень на контактуючих поверхнях між заготовкою та деформуючим інструментом. Розподіл відносних радіальних напружень $\sigma_r/\sigma_{0,2}$ на боковій поверхні головки виробу, яка контактує з матрицею, показаний на рис. 4. Максимальне значення $\sigma_r/\sigma_{0,2}=-9,2$ має місце посередині бокової поверхні головки. З урахуванням $\sigma_{0,2}=260$ МПа максимальне питоме зусилля на матриці досягає значення 2400 МПа.

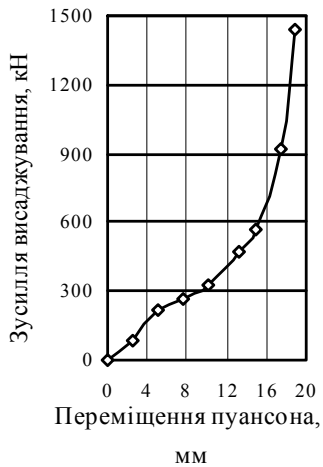


Рис. 3. Залежність зусилля висаджування від переміщення пуансона

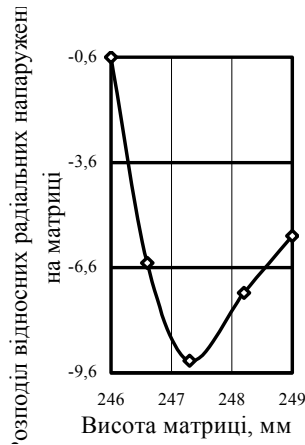


Рис. 4. Розподіл відносних радіальних напружень на матриці

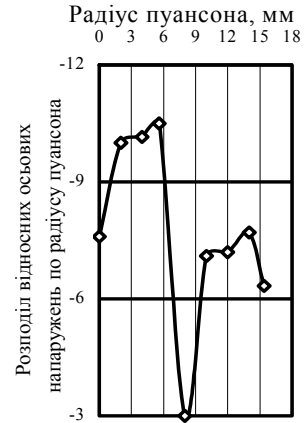


Рис. 5. Розподіл відносних осевих напружень на пуансоні та виштовхувачі

На рис. 5 наведені розподіли відносних осевих напружень $\sigma_z/\sigma_{0,2}$ на поверхні заготовки, яка контактує з пуансоном. На пуансоні отриманий нерівномірний розподіл $\sigma_z/\sigma_{0,2}$. Максимальне значення вказаних напружень на пуансоні $\sigma_z/\sigma_{0,2} = -10$ (питоме зусилля 2600 МПа). На поверхні заготовки, яка контактує з виштовхувачем, отриманий рівномірний розподіл $\sigma_z/\sigma_{0,2}$, відносні напруження досягають значення $-5,59$ (питоме зусилля 1453 МПа). Наведені значення питомих зусиль забезпечують задовільну стійкість деформуючого інструмента при холодному висаджуванні на кривошипних пресах.

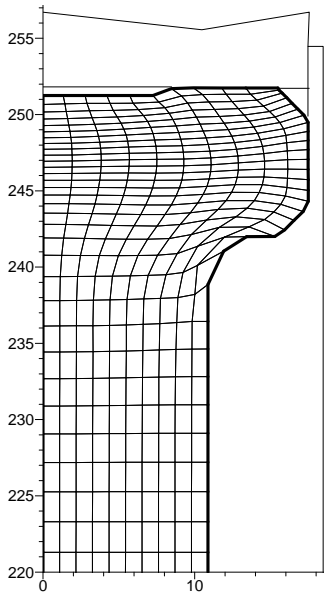


Рис. 6. Сітка скінчених елементів після висаджування (розміри в міліметрах)

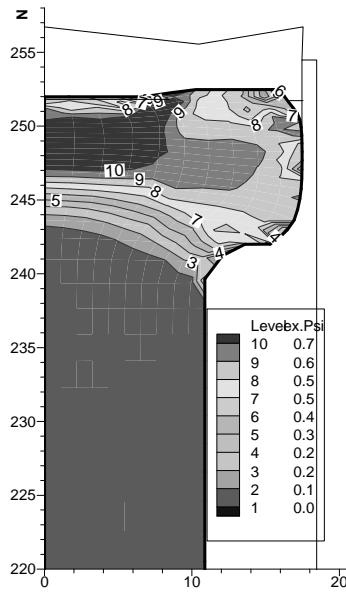


Рис. 7. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності (розміри заготовки в міліметрах)

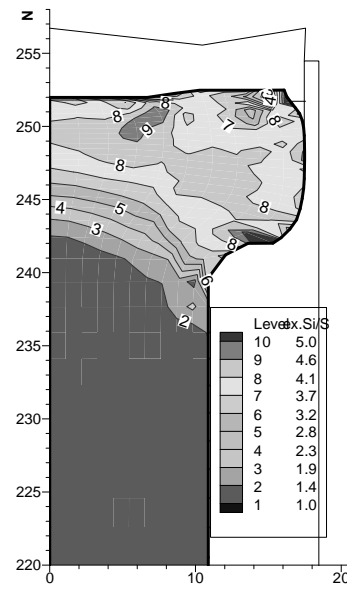


Рис. 8. Розподіл коефіцієнта зміцнення по об'єму виробу (розміри заготовки в міліметрах)

Прогнозування якості виробу після висаджування

Сітка скінчених елементів, на які була розподілена вихідна заготовка, після висаджування показана на рис. 6. Здеформований метал в кінці процесу повністю заповнює профіль матриці.

Радіуси заокруглення зовнішньої поверхні головки формуються завдяки дії сил тертя між пуансоном і верхнім торцем головки виробу і між матрицею та нижнім торцем головки. Тому немає необхідності в операції „доштамбування” для отримання кінцевої геометрії головки. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ zdeформованого металу показаний на рис. 7. З нього видно, що процес висаджування проходить без руйнування. Найбільше значення $\psi = 0,7$ отримав метал в центральній частині головки виробу. Розподіл коефіцієнта зміцнення $\sigma_i/\sigma_{0,2}$ (σ_i – інтенсивність напружень) по об’єму головки показаний на рис. 8. По об’єму головки пропрацювання структури металу пластичною деформацією забезпечило зміцнення zdeформованого металу в 3,7-4,1 рази по відношенню до вихідного стану металу. Межа течії в головці виробу досягла значення по коефіцієнту зміцнення 962 МПа. В області переходу головки в стержень коефіцієнт зміцнення zdeформованого металу досягає значень 1,4-1,9, що становить 364-464 МПа. Причому, пропрацювання структури металу пластичною деформацією інтенсивно проходить на радіусі заокруглення головки в стержень, що важливо для умов експлуатації виробу. На вісі виробу, в області головки, осередок деформації розповсюджується на всю висоту головки. Таким чином в результаті чисельного експерименту встановлено, що при висаджуванні за один перехід головки виробу на заготовці із сталі 20 з середнім ступенем деформації $\epsilon=0,62$ забезпечується отримання необхідної умови для даного виробу: отримана межа течії $\sigma_{0,2}$ в області переходу головки в стержень більша від необхідної.

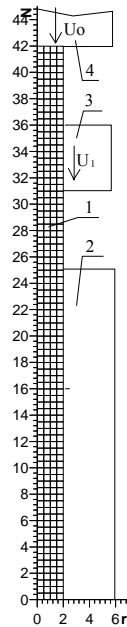


Рис. 9. Розрахункова схема (розміри в міліметрах)



Рис. 10. Залежність зусилля висаджування від переміщення пуансона

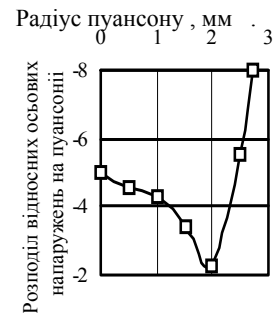


Рис. 11. Розподіл відносних осьових напружень на пуансоні

Моделювання процесу висаджування виробу кріплення з подвійною головкою та коротким стержнем

Розглянута можливість виготовлення шляхом висаджування виробу кріплення у вигляді короткого стержня з подвійною головкою із сталі 20. Геометрична форма виробу складна, висаджування виконується в роз'ємних матрицях, причому роз'ємна матриця повинна зміщуватися з іншим переміщенням ніж пуансон. На рис. 9 показана розрахункова схема процесу. Наведена половина заготовки, яка розподілена на скінченні елементи, в вихідному стані. Заготовка 1 встановлена в обоймі 2 на висоті 25 мм.

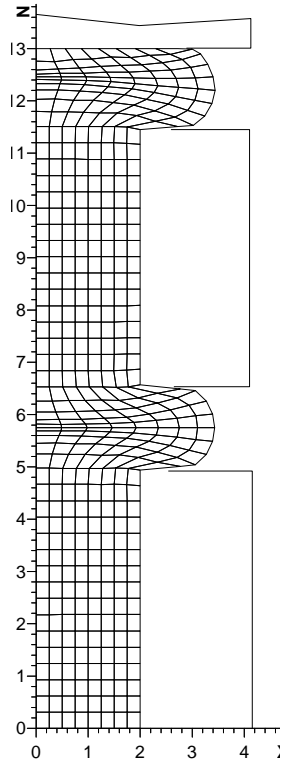


Рис. 12. Геометрія виробу після висаджування (розміри в міліметрах)

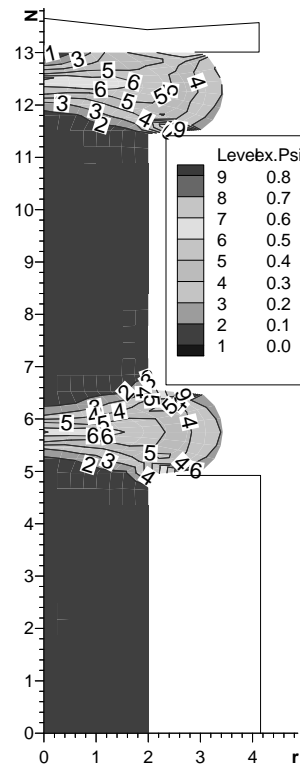


Рис. 13. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності

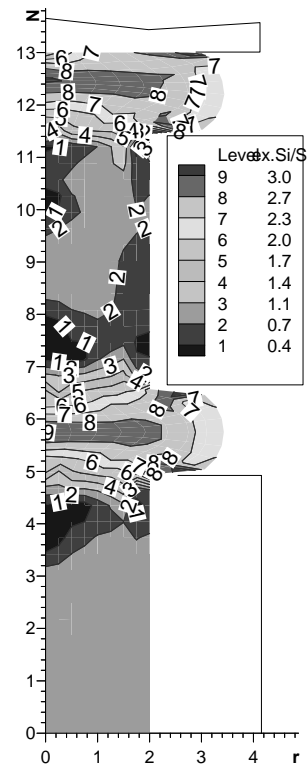


Рис. 14. Розподіл коефіцієнта зміцнення

На верхній торець заготовки прикладається зусилля висаджування через пуансон 4 у вигляді крокових переміщень U_0 в напрямку осі z . Частина заготовки висотою 5 мм утримується в роз'ємній матриці 3, яка при висаджуванні також зміщується вниз з переміщенням U_1 , що залежить від U_0 . Тертя враховували на контактуючих поверхнях між пуансоном і заготовкою та між заготовкою і поверхнями роз'ємної матриці. Розміри вихідної заготовки: діаметр 4 мм, висота 42 мм. Залежність зусилля висаджування від переміщення пуансона наведена на рис. 10. Спочатку зусилля збільшується поступово, а по мірі зменшення висоти заготовки і висоти головок (висота між верхнім торцем матриці і торцем пуансона та висота між нижнім торцем матриці і верхнім торцем обойми) зусилля зростає інтенсивно. Розподіл відносних осьових напружень на поверхні заготовки, яка контактує з пуансоном, показаний на рис. 11. На осі пуансона вони досягають значення – 5 (1300 Мпа), потім зменшуються до радіуса пуансона 2 мм та знову зростають. В крайній

точці дотику пуансона і заготовки отримане максимальне значення $\sigma_z/\sigma_{0,2}=8$, що складає - 2080 МПа. На поверхні заготовки, яка спирається на виштовхувач, отримані розрахункові відносні осеві напруження розподілені практично рівномірно, величина $\sigma_z/\sigma_{0,2}=5,35$ або - 1066 МПа.

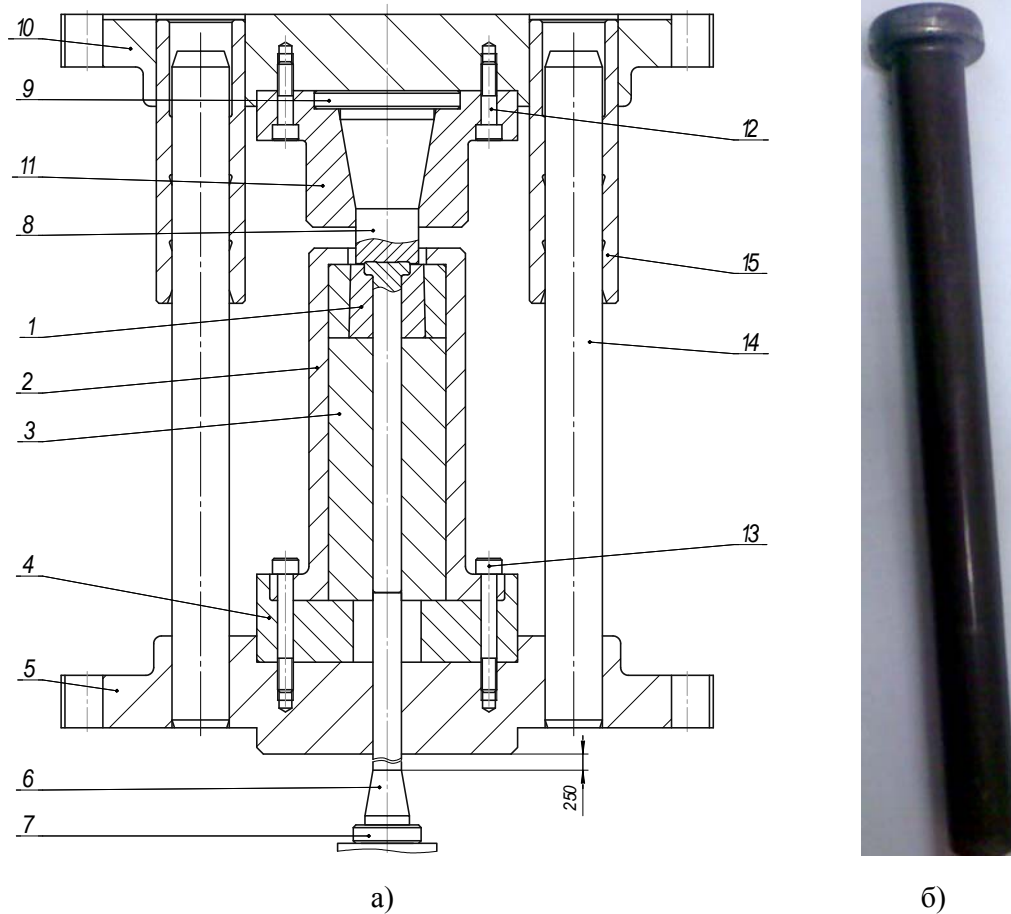


Рис. 15. Схема штапу для висаджування головки на подовженому стержні (а) та дослідний зразок висадженого виробу (б)
(1-бандажована матриця, 2-обойма, 3-контейнер, 4- підкладна плита, 5- нижня плита, 6-виштовхувач, 7- виштовхувач пресу, 8- пуансон, 9- опора, 10- верхня плита, 11- пуансонотримач, 12- болти кріплення пуансонотримача, 13- болти кріплення обойми, матриці і контейнера до нижньої плити)

Прогнозування якості виробу після висаджування.

Геометрична форма виробу кріплення, яка отримана моделюванням висаджування показана на рис. 12 (в силу симетрії наведена половина заготовки та показана верхня частина її). Бокові поверхні головок мають заокруглення внаслідок дії сил тертя на контактуючих поверхнях між заготовкою, пуансоном і матрицею при висаджуванні. Ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу (рис. 6.13) максимально використовується в центральних зонах головок ($\psi=0,5$). Чим ближче до зовнішньої поверхні головок, тим менше вичерпується пластичність здеформованого металу. Розподіл коефіцієнта зміцнення по об'єму виробу показаний на рис. 14. Практично по всьому об'ємі головок проходить пропрацювання структури металу

пластичною деформацією, але з невеликим зменшення в напрямку вісі заготовки. В центральних областях головок метал зміцнюється в 2,7 рази по відношенню до вихідного стану. Довкола бокових поверхонь головок – в 2,3 рази. В зонах переходу верхньої головки і нижньої головки в стержень коефіцієнт зміцнення досягає значення 1,4. Інші об'єми виробу практично не деформуються. Таким чином, шляхом моделювання доказана можливість отримання висаджуванням виробу кріплення з подвійною головкою.

Для проведення експериментальних робіт по висаджуванні головки на подовженому стержні був спрєктований та виготовлений штамп, конструкція якого наведена на рис. 15. Дослідний зразок виробу після висаджування показаний на рис. 15б.

Список літератури

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т/Ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др.-Машиностроение, 1987 – т. 3. Холодная объемная штамповка/Под ред. Г.А. Навроцкого. 1987. – 384 с.
2. В.А. Кроха Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. М.: Машиностроение, 1980ю – 158 с.
3. Теория пластических деформаций металлов/ Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др.; Под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.

УДК 621.771.073.8:681.3.06

**В.С. Медведев, канд.техн.наук
НИИ «УкрНИИМет» УкрГНТЦ «Энергосталь», г.Харьков, Украина**

ОПТИМИЗАЦИЯ КАЛИБРОВОК ВАЛКОВ В ЧЕРНОВЫХ КЛЕТЯХ СОРТОВЫХ СТАНОВ

Розроблено методику комп'ютерного проектування оптимальних універсальних калібрувань валків у чорнових клітках сортових станів за умови мінімізації типорозмірів калібрів у кожній клітці й вибору оптимальних перетинів і кількості вихідних заготовель.

In this article a new method of computer designing of optimum universal calibrations of rollers for the roughing stands of section mills is described with main regard to minimization of caliber types and sizes in every stand and under the condition of choosing the optimum amount and cross-sections of primary blanks.

Анализ технологии производства сортовых профилей на металлургических предприятиях показывает наличие резервов дальнейшего повышения эффективности производства. Как правило, действующие технологические процессы разработаны на основе практического опыта инженеров технологов без должных научно-обоснованных проработок. Отсутствие последних приводит к дополнительным непроизводительным затратам. Технология не является оптимальной. На большинстве сортовых станов отсутствует должная универсальность калибровок прокатных валков. Вместе с тем,