

Для данного случая допустимо учитывать возможность одновременного реза двумя ножами. Но на втором ноже может задерживаться только какая-то часть стружки от первого. Примем это значение 0,5, т.е. половину от того, что было на первом ноже, это составляет 0,35.

Тогда расчетная сила резания одновременно на двух ступенях составит:

$$P_{рас} = 9560 \cdot 0,7 + (9560 \cdot 0,7) \cdot 0,35 = 9034,2 \text{ Н.}$$

**Выводы.** Установка механизма принудительной подачи измельчаемого материала к ножам, состоящего из кривошипно-шатунного механизма с качающимися зубчатыми захватами в сочетании с ребрами в донной перфорируемой части бункера и рассекателями, позволяет эффективно использовать работу гидроцилиндра в обоих направлениях и таким образом успешно справляться с залежавшейся и спутанной стружкой, отделять при этом от нее недробимые предметы. Это способствует повышению КПД, экономической эффективности, производительности и эксплуатационной надежности устройства.

Качательное движение рабочего органа обеспечивает создание многоступенчатой системы, попарно действующих ножей по принципу алигаторных ножниц. Это повышает степень измельчения металлоотходов. Гидроцилиндр значительно упрощает устройство, снижает металлоёмкость, затраты мощности, повышает экономичность. Такой привод имеет мягкую характеристику и обеспечивает возможность изменения скорости движения ножей в зависимости от измельчаемого материала. Исключаются удары при резании, что повышает эксплуатационную стойкость режущих элементов, рабочих звеньев и механизмов в целом. Устройства могут устанавливаться непосредственно у станка и на автомобильном шасси, использоваться для измельчения стружки в различных цехах, заводах и отраслях промышленности, что существенно расширяет его технологические и эксплуатационные возможности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент №18835 України. Пристрій для подрібнювання металовідходів / Завацький В.Л., Барбуль О.С., Стовпа С.І.; заявник та патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. університ.; заявка № 95320985; заявл. 30.03.93; опубл. 25.12.97, Бюл. №6.
2. Ножницы для резки листового и сортового проката / Леонов И.С., Фуга Г.П., Крылов Г.Л., Песоцкий В.Г. – М.: Машиностроение, 1972. – 376с.

*Поступила в редколлегию 01.12.2014.*

УДК 621.923.2:621.833

СІЛКІН В.П., к.т.н., доцент  
ГРЕЧАНИК Е.М., к.н.т., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

### **ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В ЗУБОРІЗАЛЬНИХ ГОЛОВКАХ ДЛЯ ОБРОБКИ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ З КРУГОВИМИ ЗУБЦЯМИ**

**Вступ.** Обработка конических колес с круговыми зубцами зуборезальными головками є доволі складним та трудомістким процесом. Пошуки підвищення ефективності виготовлення конічних коліс з круговими зубцями ведуться в різних напрямках: використання нового обладнання, удосконалення нових схем обробки, розробка оптимальних геометричних параметрів зуборезальних головок і різців. Однак резервом підвищення ефективності обробки конічних коліс з круговими зубцями є оснащення новими інструментальними матеріалами різців зуборезальних головок, які недостатньо вивчені.

**Постановка задачі.** Таким чином, визначення ефективності використання нових інструментальних матеріалів в зуборізальних головках для обробки конічних коліс з круговими зубцями складає сутність поставленої задачі.

**Результати роботи.** Одним з основних резервів підвищення продуктивності обробки конічних коліс зуборізальними головками є застосування замість швидкорізальної сталі Р6М5 нових інструментальних матеріалів, які мають більш високі властивості при різанні. Відкривається також перспектива остаточної обробки загартованих до високої твердості конічних коліс зуборізальними головками замість малопродуктивного і неефективного процесу зубошліфування. Однак нормативи режимів різання при чорновій та чистовій зубообробці наявні лише для зуборізальних головок з швидкорізальних сталей Р9 і Р18 [1]. Ріжучі властивості інструментальних матеріалів оцінювалися по стійкісних, силових і температурних залежностях. Вимірювання температури різання здійснювалося методами природної, штучної і перерізальної термопар, а зусилля різання визначалися за допомогою динамометричної зуборізальної головки [2].

Досліджувалися ріжучі властивості зуборізальних головок, оснащених швидкорізальними сталями Р9К10, Р14Ф4, Р9МЗК8С, Р12Ф2К8МЗ, а також твердими сплавами Т14К8, ВК6М, ТТ10К8Б, ТТ20К9.

Встановлено, що вплив величини подачі на складові зусилля різання проявляється по-різному, що пов'язано з особливостями взаємодії контактуючих поверхонь (з даного матеріалу) і заготовки. Збільшення подачі супроводжується зростанням всіх трьох складових зусилля різання. Так, при оснащенні головки різцями зі швидкорізальної сталі Р12Ф2К8МЗ залежності тангенціальної ( $P_z$ ), осьової ( $P_x$ ) і радикальної ( $P_y$ ) складових зусиль різання від величини лінійної подачі  $S_z$  мають вигляд:

$$P_z = A_z \cdot S_z^{0,8}; \quad (1)$$

$$P_x = A_x \cdot S_z^{0,9}; \quad (2)$$

$$P_y = A_y \cdot S_z^{1,14}, \quad (3)$$

де  $A_z$ ,  $A_x$ ,  $A_y$  – постійні коефіцієнти для умов проведення експериментів.

При оснащенні головки різцями з твердого сплаву Т14К8 зусилля будуть:

$$P_z = A_z^1 \cdot S_z^{0,75}; \quad (4)$$

$$P_x = A_x^1 \cdot S_z^{0,82}; \quad (5)$$

$$P_y = A_y^1 \cdot S_z^{0,82}. \quad (6)$$

Із залежностей (1)-(6) видно, що вплив лінійної подачі на тангенціальну і осьову складові зусилля різання у швидкорізальної і твердосплавної зуборізальної головках приблизно однаковий; із збільшенням лінійної подачі тангенціальна і осьова складові зусилля різання зростають дещо повільніше. Абсолютна величина радіальної складової зусилля різання у швидкорізальних і твердосплавних зуборізальних головках значно менша, ніж тангенціальної осьової, тому більш інтенсивне зростання цієї складової зі збільшенням подачі не повинно мати істотного впливу на протікання процесу зносу.

У зуборізальних головках з різцями зі швидкорізальної сталі збільшення подачі призводить до зростання середньої температури різання. Залежності термо-е.р.с. природної термопари Р9МЗК6С-40Х від величини подачі на різець при різних швидкостях різання показують, що збільшення подачі в два рази призводить до зростання термо-е.р.с., а, отже, і середньої температури різання приблизно в 1,5 рази. У головках з твердосплавними різцями збільшення подачі призводить до більш інтенсивного підвищення середньої температури різання. Так, збільшення подачі в два рази призвело до зростан-

ня термо-е.р.с. природної термопари Т14К8-40Х, а, отже, середньої температури різання, приблизно в 2,2 рази.

Залежність температури на профілюючій ріжучій кромці від величини лінійної подачі різця зі швидкорізальної сталі Р12Ф2К8М3 або Р9М4К8 знайдена за допомогою перерізаючої термопари і має вигляд:

$$T = B \cdot S_z^{1,45}, \quad (7)$$

де  $B$  – постійний для умов проведення експериментів коефіцієнт.

Залежність температури різання від величини лінійної подачі у зуборізальних головках, оснащених твердим сплавом Т14К8, має вигляд:

$$T = C \cdot S_z^{1,14}, \quad (8)$$

де  $C$  – коефіцієнт, постійний для умов проведення експериментів.

Із залежностей (7), (8) випливає: із збільшенням лінійної подачі температура на ріжучій кромці різців зі швидкорізальної сталі або твердого сплаву зростає інтенсивніше, ніж збільшується лінійна подача, особливо в головках з швидкорізальними різцями.

Дослідження показали, що залежності середньої температури різання від величини лінійної подачі зберігаються при різних швидкостях різання як в швидкорізальних, так і твердосплавних зуборізальних головках.

Швидкість різання має різний вплив на зусилля і температуру різання. У зуборізальній голівці з різцями зі сталі Р18 швидкість різання в межах 24-44 м/хв. практично не впливає на величину складових зусилля різання. Обробка з подачею 0,05-0,06 мм/різець голівкою з різцями зі сталі Р12Ф2К8М3 при збільшенні швидкості різання із 39 до 70 м/хв. не призводить до помітної зміни складових зусилля різання. При зниженні подачі до 0,02-0,03 мм/різець збільшення швидкості різання в зазначених межах супроводжується деяким зниженням  $P_x$  і  $P_z$  і незначним збільшенням  $P_y$ .

У зуборізальній голівці з різцями зі сталі Р9М4К8 збільшення швидкості різання із 39 до 51 м/хв. призводить до зниження складової зусилля різання приблизно на 12%. Осьова і радіальна складові зусиль різання змінюються при цьому досить незначно. Підвищення швидкості різання з 51 до 70 м/хв. призводить до незначного збільшення тангенціальної складової і деякого зниження осьової і радіальної складових зусилля різання.

Збільшення швидкості різання в межах 60-180 м/хв. призводить до зниження усіх трьох складових зусилля різання при оснащенні зуборізальної головки твердим сплавом. Залежності складових сили різання для зовнішніх різців з твердого сплаву Т14К8 від швидкості різання в межах 50-180 м/хв. має вигляд:

$$P_z = B_z \cdot V^{-0,31}, \quad (9)$$

$$P_x = B_x \cdot V^{-0,04}, \quad (10)$$

$$P_y = B_y \cdot V^{-0,213}, \quad (11)$$

де  $B_z$ ,  $B_x$ ,  $B_y$  – постійні коефіцієнти для умов проведення експериментів.

Із залежностей (9)-(11) випливає, що в твердосплавних головках зі збільшенням швидкості різання більш значно знижуються тангенціальна і радіальна складові зусилля різання; зменшення складових зусилля різання відбувається значно повільніше, ніж збільшується швидкість різання.

Зниження складових зусилля різання при підвищенні швидкості різання призводить до зменшення питомого зусилля різання, що свідчить про поліпшення різальних властивостей зуборізальних головок із збільшенням швидкості різання.

У результаті проведених досліджень встановлено, що в зуборізальних головках з різцями зі сталі Р18 або Р9К10 швидкість різання збільшується приблизно в 2,3-2,5 ра-

зи, а в головках з різцями із сталей P9M3K6C і P14Ф4 – приблизно в 1,6-1,7 рази. При оснащенні зуборізної головки твердим сплавом збільшення швидкості різання в два рази (з 70 до 140 м/хв.) призвело до зростання середньої температури різання приблизно в 1,5 рази. Залежність температури на профілюючій ріжучій кромці різця зі швидкорізальної сталі P12Ф2К8М3 або P9M4K8 від швидкості різання має вигляд:

$$T = C \cdot V^{1,05} \text{ при } 39 \leq V \leq 86 \text{ м/хв.}, \quad (12)$$

де  $C$  – постійний коефіцієнт для умов проведення експериментів.

При оснащенні головки твердим сплавом T14K8 залежність температури на профілюючій кромці різця від швидкості різання має вигляд:

$$T = C \cdot V^{1,2} \text{ при } 60 \leq V \leq 120 \text{ м/хв.}, \quad T = C_1 V^{1,2} \quad (13)$$

Із залежностей (12) і (13) випливає, що в швидкорізальних зуборізальних головках збільшення швидкості різання супроводжується приблизно пропорційним зростанням температури на профілюючій ріжучій кромці різця, а при оснащенні головки твердим сплавом – дещо випереджає збільшення швидкості різання.

Найважливішими факторами для оцінки процесу обробки є знос інструменту і продуктивність різання. Відомо, що величина зносу по задній поверхні профілюючої ріжучої кромки визначає період стійкості інструменту.

Проведено дослідження залежності зносу вершинної частини зуборізних різців зі сталі P12Ф2К8М3 від швидкості різання при постійному шляху різання. Результати досліджень показали, що збільшення швидкості до 50-60 м/хв. супроводжується незначним зростанням зносу. Подальше збільшення швидкості різання недоцільне через значне скорочення періоду стійкості головки. Збільшення швидкості різання до 96 м/хв. призводить до катастрофічного зносу різців після 3 хвилин роботи.

Збільшення подачі призводить до зростання складових зусилля різання, що може зробити негативним вплив на жорсткість системи верстат-притосування-інструмент-деталь (ВПД), а отже, і на стійкість інструменту. Збільшення швидкості різання, як правило, супроводжується деяким зниженням складових зусилля різання. Тому при використанні швидкорізальних сталей, що мають хорошу теплопровідність, як наприклад, P12Ф2К6М3, більш раціональним шляхом підвищення продуктивності є збільшення швидкості різання, а не подачі на різець.

Також проведено дослідження залежності зносу вершинної частини різців зі сталі P9M3K6C від швидкості різання при постійному шляху різання. Характер протікання зносу дозволяє зробити висновок про те, що ріжучі властивості цієї сталі близькі до властивостей сталі P18. Катастрофічний знос різців зі сталі P9M3K6C починається при швидкості різання 66 м/хв.

У головці з різцями зі сталі P15Ф4 при постійному шляху різання збільшення швидкості різання більш 50 м/хв. призводить до підвищення зносу на профілюючій ріжучій кромці різця. Збільшення швидкості більш 55 м/хв. супроводжується значним зниженням періоду стійкості. При швидкості більш 70 м/хв. знос різців набуває катастрофічного характеру. Високий темп зносу дозволяє зробити висновок, що сталь P14Ф4 не має суттєвих переваг за ріжучими властивостями порівняно зі сталлю P18 при чорновій обробці конструкційних сталей.

Збільшення швидкості до 50-60 м/хв. при постійному шляху різання для сталі P9M4K8 призводить до інтенсивності зростання зносу. Збільшення швидкості різання вище 70 м/хв. призводить до більш інтенсивного зростання зносу. При швидкості різання більше 100 м/хв. настає катастрофічний знос.

Якщо при чорновій обробці різанням головками з різцями зі швидкорізальної сталі P18 нормативна швидкість різання становить 30-40 м/хв. [1], то швидкорізальні

сталі марок P12Ф2К8М3, P9М3К6С і P9М4К8, як впливає з розглянутого вище, дозволяють при тих же подачах вести обробку зі швидкостями різання 50-60 м/хв., завдяки чому збільшується продуктивність зубообробки приблизно в 1,5 рази. Перевагу слід надати сталям P9М4К8 і P12Ф2К8М3, які показали більш стабільні результати при випробуваннях.

У твердосплавних головках швидкість різання і подача дуже впливають на стійкість. Проведено дослідження залежності періоду стійкості від швидкості різання в зуборізній головці, оснащеної твердим сплавом Т14К8; ця залежність має максимум при  $V \approx 100$  м/хв. При швидкості різання нижче 100 м/хв. стійкість зменшується через викришування ріжучих кромки. Залежність стійкості від швидкості різання при постійній величині подачі на різець в зуборізальній головці, оснащеної твердим сплавом Т14К8, має вигляд:

$$P = D \cdot V^{+0,74} \quad \text{при } 70 \leq V \leq 100; \quad (14)$$

$$P = D_1 \cdot V^{-0,165} \quad \text{при } 100 \leq V \leq 180, \quad (15)$$

де  $D$  і  $D_1$  – коефіцієнти, постійні для умов проведення експериментів.

Із залежностей (14) і (15) випливає, що зі збільшенням швидкості різання в твердосплавних головках період стійкості знижується, але більш повільно, ніж збільшується швидкість різання.

Залежність періоду стійкості від величини подачі на різець (в межах 0,04-0,11 мм) в зуборізальних головках, оснащених твердим сплавом Т14К8, при незмінних геометричних параметрах інструменту, матеріалу та форми заготовок, а також швидкості різання має вигляд:

$$P = D_2 \cdot S_z^{-0,563}, \quad (16)$$

де  $D_2$  – коефіцієнт, постійний для умов проведення експериментів.

Із залежності (16) випливає, що зі збільшенням лінійної подачі період стійкості твердосплавної головки знижується, але значно повільніше, ніж збільшується лінійна подача.

З досліджених марок твердого сплаву найкращими ріжучими властивостями при чорновій обробці врізанням володіють сплави ТТ20К9 і Т14К8. З них перевагу слід надавати сплаву Т14К8, як менш дефіцитному. Тверді сплави Т15К6, ТТ10К8Б, ВК6М, ВК10М мало придатні для чоргової обробки врізанням через низький період стійкості.

**Виводи.** Визначено аналітичні стійкісні, силові та температурні залежності обробки різанням зуборізальними головками з різцями із твердого сплаву та швидкорізальних сталей, які дозволяють прогнозовано призначати режими різання для ефективної та продуктивної обробки конічних коліс з круговими зубцями.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 2. / Центр. бюро пром. нормативов по труду НИИ труда. – М.: Машиностроение, 1974. – 200с.
2. Силкин В.П. Новый метод измерения составляющих усилия резания при обработке конических колес с круговыми зубьями / В.П.Силкин // Прогрессивная технология машиностроения (исследования в области станков, инструментов и резанья металлов): научные труды. – Саратов: Саратовский политехнический институт, 1970. – Выпуск 45. – С.139-143.

Надійшла до редколегії 02.02.2015.