

## КОМПЛЕКСНИЙ ПРОЦЕС ПОЛІПШЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

Теоретичні засади дослідження показали, що у зоні низьких та середніх швидкостей різання, характерних для обробки складним інструментом із швидкорізальної сталі (протягування, фрезерування, нарізання різьби та зубців шестерень, довбання тощо), факторами сильного впливу на оброблюваність аустенітних сталей є попередня обробка останніх холодним пластичним деформуванням (ХПД) та введення у зону різання рослинних мастильно-охолоджувальних рідин (МОР). Дещо слабше діє на процес швидкість різання, а інші фактори, у тому числі і передній кут інструменту, майже не впливають на оброблюваність у діапазоні досліджуваних факторів.

Роль попереднього ХПД полягає у тому, що при проведенні процесу виконується частина роботи, яку мала б виконати обробка різанням недеформованої аустенітної сталі. Використання середовища рослинного походження поліпшує контактні процеси на передній поверхні інструменту. В результаті спостерігається подвійний позитивний ефект: з боку зони стружкоутворення через попереднє об'ємне ХПД, а з боку контактної зони – через ефективне екологічно чисте рослинне середовище.

У дослідженні використовувались зразки із наступних марок аустенітних сталей: 08X18H10 (AISI 304); 12X15Г9НД (AISI 201); 110Г13Л (A128) та контрольної нержавіючої сталі феритного класу 40X13 (AISI 420). Холодне деформування з деформаціями зразків до 90% здійснювалось на гідравлічному пресі моделі ПММ–200 з використанням методу поперечного стиску.

Вивчення теорії обробки матеріалів різанням показало, що об'єктивно можна судити про оброблюваність того чи іншого матеріалу по коефіцієнту усадки стружки  $\zeta$  і повній довжині контакту останньої  $c$  з передньою поверхнею інструменту. При цьому зменшення величини цих факторів однозначно свідчить про поліпшення оброблюваності матеріалу різанням.

Для вивчення сумісного впливу деформаційного зміцнення і екологічно чистих МОР на оброблюваність аустенітних сталей характерних марок була проведена серія експериментів за схемою вільного прямокутного різання. Геометричні параметри різця зі сталі Р6М5 були наступними: ширина 10 мм, передній кут  $15^\circ$ , задній кут  $6^\circ$ , радіус округлення різальної кромки – 10 мкм. Швидкість різання – 26,5 м/год. Товщина зрізаного шару 0,02 – 0,03 мм.

Експерименти по визначенню оптимальної марки МОР включали дослідження впливу сульфозфрезолу Р, ріпакової та соняшникової олій, а також олії льону на величини  $\zeta$  та  $c$  при різанні незміцнених та зміцнених деформацією сталей.

Порівняння олій з традиційним для процесів різання сульфозфрезолом Р дало наступні результати. Сумісна дія ХПД і середовища при різанні аустенітної сталі 12X15Г9НД знижує коефіцієнт усадки стружки на 25%, а повної довжини контакту – на 34%. При обробці аустенітної сталі 08X18H10 ці показники відповідно такі: зниження  $\zeta$  на 24%, а  $c$  – на 34%. Обробка зносостійкої аустенітної сталі 110Г13Л характеризується наступними результатами: зменшення коефіцієнта усадки стружки на 16%, а повної довжини контакту – на 22%. Різання контрольної марки феритної нержавіючої сталі 40X13 також показало поліпшення оброблюваності:  $\zeta$  на 21% і  $c$  на 29%.

Отже, попереднє ХПД у поєднанні з використанням МОР на рослинній основі є потужним засобом поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей. Керуючись вартістю олій, вибрано найдешевшу – ріпакову.

Проведено серію точних експериментів із застосуванням електронної мікроскопії за допомогою мікроскопа РЕМ–106И. Метою цих експериментів було виявлення впливу об'ємного ХПД на густину дислокацій у аустенітних сталях. Установлено, що густина дислокацій  $\rho$  в результаті обробки зразків об'ємним ХПД збільшується приблизно у 4 рази. Скупчення дислокацій служить основою для формування мікротріщин у матеріалі, що сприяє поліпшенню оброблюваності різанням аустенітних сталей.

Поліпшення оброблюваності аустенітних сталей відбувається також завдяки частковим перетворенням аустеніту в мартенсит, тобто набуття парамагнітної сталлю феромагнітних властивостей. Визначення фазового складу при аустенітно-мартенситних перетвореннях, викликаних дією ХПД, проводилось з використанням рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV.

Метод аналізу – рентгеноструктурний фазовий. Дослідження зразків проведено в мідному випромінюванні ( $Cu_{K\alpha} = 0,15418$  нм). Напруга – 30 кВ; сила струму – 30 мА; ширина щілини, яка обмежує рентгенівський промінь – 10 мм. Для дослідження використано схему фокусування за Брегом–Брентано. Умови досліджень: досліджений інтервал кутів  $2\theta = 25\text{--}140^\circ$ , крок зйомки –  $0,04^\circ$ , час витримки у точці – 2 с; тривалість зйомки одного зразка – 90 хв.

Аналіз отриманих рентгенівських спектрів та проведення кількісного та якісного фазового аналізу здійснено з використанням програмного забезпечення PDXL, міжнародної бази даних дифракції ICDD (PDF–2) та відкритої бази кристалографічних даних COD.

Установлено, що попередня обробка аустенітних сталей ХПД за методом поперечного стиску викликає зниження середньої температури різання, яку виміряли методом природної термопари, на  $30\text{--}50^\circ\text{C}$ . Дослідження складових  $P_z$  і  $P_y$  сили різання було проведено за допомогою стандартного тензометричного динамометра УДМ–

600. Ці дослідження показали зниження складових у середньому на 25–30% при сумісній дії ХПД і ріпакової олії [1].

Про суттєве поліпшення оброблюваності аустенітних сталей свідчать також зміна контактних характеристик процесу різання: нормальних напружень (тиску)  $q_N$ , дотичних напружень  $q_K$  та середнього коефіцієнту тертя  $\mu$  [1].

Дослідження показали, що протягом усього циклу обробки на низьких та середніх швидкостях різання тіло наросту має стабільну форму і перебуває у зоні дії виключно пружних деформацій. Наріст є додатковим різальним клином, який генерує система, що адаптується до характерних умов процесу. Позитивна функція наросту полягає у захисті різальної кромки інструменту і розміщення лунки зношування на передній грані на деякій відстані від цієї кромки. Негативна функція наросту полягає у значному погіршенні оброблюваної поверхні деталі через періодичне видалення його твердих часток з боку задньої поверхні. Відмінність процесів наростуотворення при різанні незміцненого і зміцненого металу полягає у розмірах і об'ємі тіл наросту. Основними геометричними характеристиками наросту є: радіус округлення  $\rho_H$ , передній кут  $\gamma_H$ , довжина підосви  $s_H$  та площа тіла  $S_H$ .

Дія попереднього ХПД та екологічно чистої МОР рослинного походження дозволяє у кілька разів знизити характеристики наросту. Тим самим напружено-деформівний стан системи «оброблюваний матеріал – інструментальний матеріал – стружка» максимально наближається до початкового (заданого). Зона пластичного контакту стружки з передньою поверхнею зменшується. Параметри різального клину набувають значень, близьких до створюваних заточуванням. Шорсткість обробленої поверхні поліпшується за параметром  $R_z$  у 5–20 разів [2].

Побудовано взаємозв'язок явищ при різанні аустенітних сталей, попередньо зміцнених ХПД, в умовах екологічно чистих МОР.

Вплив ХПД на зміну твердості аустенітних сталей полягає у наступному. Зміна твердості діє на складові  $P_z$  і  $P_y$ , температуру різання  $\theta$  і коефіцієнт усадки стружки  $\zeta$ . Виконуючи частину роботи різання, попереднє ХПД знижує величину  $P_z$  та  $P_y$ , що, у свою чергу, знижує величину  $q_N$ ,  $q_F$  і  $\mu$  у зоні контакту. Попереднє ХПД також знижує інтенсивність наростуотворення.

Зниження коефіцієнта усадки стружки  $\zeta$  також призводить до зниження її товщини, тобто зменшення радіуса завитка стружки  $i$ , як наслідок, підвищення коефіцієнта заповнення канавок  $1/k$  при різанні інструментом із примусовим формуванням валика стружки. Для різальних протяжок така зміна може складати від  $1/k = 0,21$  до  $1/k = 0,63$ , тобто збільшуватись у 2–3 рази. Збільшується відповідно і допустима довжина протягування.

Вплив МОР на параметри процесу різання полягають у наступному. Використання ріпакової олії дає зниження  $\mu$  та  $\zeta$  на 30% та 80% відповідно. Зміна швидкості різання в межах 5 – 50 м/хв в поєднанні з попереднім ХПД та МОР дозволяє керувати явищем наростуотворення.

Сумісна дія вищезгаданих факторів дозволяє суттєво підвищити оброблюваність аустенітних сталей, для яких складність обробки різанням лезовим інструментом із швидкорізальної сталі є звичним явищем.

Завершальною (фінішною) термічною обробкою деталей із аустенітних сталей з метою повернення початкових експлуатаційних властивостей, вибрано середній відпуск. Призначення цієї операції – зняти залишкові напруження, які виникли у деталях у попередніх операціях; змінити фізико-механічні властивості матеріалу (підвищити пластичність та ударну в'язкість при незмінній границі текучості; дещо знизити твердість і тимчасовий опір); перетворити різні структурні складові знову у аустеніт. Середній відпуск виконується у діапазоні температур 300–350° С при витримці 1,5 – 2 години у захищеному аргоні середовищі [3].

Таким чином, для виробництва та відновлення деталей із аустенітних сталей рекомендується наступна схема основних технологічних операцій: холодне об'ємне пластичне деформування – формуютьороюча обробка різанням у середовищі екологічно чистих МОР на основі ріпакового масла – середній відпуск у захищеному аргоні середовищі. При необхідності (для точних деталей) слід рекомендувати фінішну алмазно-абразивну обробку [1–3].

#### Література:

1. Посвятенко Е.К., Аксьом П.А. Про природу впливу деформаційного зміцнення на оброблюваність аустенітних сталей // Вісник Національного транспортного університету. 2019. Вип. 3 (45). С. 113–121.
2. Посвятенко Е.К., Будяк Р.В., Аксьом П.А. Розширення застосування виробів із аустенітних сталей у харчовій галузі // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. № 1 (112). С. 70–80.
3. Posviatenko Eduard, Posviatenko Nataliia Cold plastic deformation as an effective method of engineering surface machine parts // Scientific letters of academic society of Michal Baludansky. 2019. № 1 (7). P. 73–78.