

ЕФЕКТИВНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Підвищення характеристик якості виробів машинобудівного виробництва в значній мірі забезпечується використанням спеціалізованих конструкційних матеріалів з певними фізико-механічними характеристиками. До спеціалізованих конструкційних матеріалів необхідно віднести алюмінієві сплави, для яких за рахунок легуючих елементів та застосування певних операцій термічного оброблення є можливим цілеспрямовано змінювати їх фізико-механічні характеристики у відповідності до заданих умов експлуатації.

Алюмінієві сплави широко використовуються в літальних апаратах, суднобудуванні, автомобілебудуванні, транспортному машинобудуванні, будівництві та інших галузях промисловості і загальною світовою тенденцією є розширення їх подальшого застосування. Тому створення надійних технологічних рекомендацій для проектування технологічних операцій оброблення таких сплавів є актуальною проблемою сучасного машинобудівного виробництва.

Необхідно відзначити, що наявні результати досліджень оброблення таких матеріалів [1][2][3] є обмеженими і орієнтовані на використання переважно застарілого верстатного обладнання та інструментального забезпечення, що потребує їх подальшого уточнення, особливо за умов використання сучасних верстатів з ЧПК та сучасного інструментального забезпечення для таких верстатів. Стандартом ISO 513:2012 в класифікації сучасних інструментальних матеріалів за технологічними областями застосування окремо визначена група оброблюваності N (кольоровий код-зелений), яка включає кольорові м'які матеріали твердістю до 130HV, за винятком високоміцної бронзи твердістю більше 225HV. Найбільшу частину цієї групи складають алюмінієві сплави з вмістом кремнію $Si \leq (12 - 13)\%$. До цієї групи оброблюваності входять також сплави на основі магнію; мідь електролітична (99,95% Cu); мідні сплави з оловом (10-14%) Sn та/або алюмінієм (3-10%) Al (бронзи); мідні сплави (60-85%) Cu з цинком (15-40) Zn (латуні) та неметалічні матеріали (композитний матеріал з металічною матрицею Al + SiC(20 – 30)%).

Підгрупа застосування визначає застосування інструментальних матеріалів N01-N30. Закордонні інструментальні фірми для формування більш детальних технологічних рекомендацій використовують власні класифікатори матеріалів за оброблюваністю. Так фірма Sandvik Coromant використовує коди СМС (Coromant Material Classification), які забезпечують урахування специфічних умов оброблення різанням груп матеріалів, що визначаються стандартом ISO 513:2012. За результатами наукових досліджень [3] та практичного досвіду оброблення алюмінієві сплави поділяють на три групи оброблюваності (табл.1.).

Таблиця 1- Групи оброблюваності алюмінієвих сплавів

Перша група оброблюваності	Алюміній чистий для виготовлення заготовок литтям та пластичним деформуванням; Алюмінієві сплави, які термічно не зміцнюються; Алюмінієві сплави, які термічно зміцнюються але оброблюються у відпаленому стані
Друга група оброблюваності	Алюмінієві сплави, які термічно зміцнюються та оброблюються в загартованому та зістареному стані
Третя група оброблюваності	Алюмінієві сплави, які термічно зміцнюються та оброблюються в загартованому та зістареному стані з підвищеним вмістом кремнію $Si > 10\%$

Спеціалісти фірми DORMER TOOLS (Швеція) поділяють алюмінієві сплави на чотири групи оброблюваності за вмістом кремнію, який має значний вплив на інтенсивність зношування різальної частини лезових різальних інструментів (табл.2.) (<http://www.dormertools.com/>).

Таблиця 2- Групи оброблюваності алюмінієвих сплавів за даними фірми Dormer Tools

Перша група оброблюваності	Алюміній чистий для виготовлення заготовок литтям та пластичним деформуванням
Друга група оброблюваності	Алюмінієві сплави з вмістом кремнію $Si < 0,5\%$
Третя група оброблюваності	Алюмінієві сплави з вмістом кремнію $0,5 < Si < 10\%$
Четверта група оброблюваності	Алюмінієві сплави з вмістом кремнію $Si > 10\%$

За результатами наукових досліджень та практичного досвіду оброблення алюмінієвих сплавів встановлено, що на оброблюваність різанням алюмінієвих сплавів має значний вплив його хімічний склад та термічне оброблення. Алюмінієві сплави, які леговані міддю, магнієм, цинком добре оброблюються різанням, а при обробленні сплавів з підвищеним вмістом кремнію спостерігається більш висока інтенсивність зношування лезових різальних інструментів. Алюмінієві сплави, які зміцнюються операціями термічного оброблення і мають підвищену твердість оброблюються простіше, ніж чистий алюміній та сплави, до яких не можуть бути застосовані операції термічного оброблення.

Важливою особливістю оброблення алюмінієвих сплавів є незначна сила різання, яка складає біля (20-30)% відсотків в порівнянні з силою різання при обробленні традиційних конструкційних сталей в рівних технологічних умовах. Це визначає незначну величину роботи різання, а, відповідно, і значно меншу кількість теплоти різання, яка утворюється в зоні різання. Висока теплопровідність оброблюваного матеріалу обумовлює швидке відведення теплоти від зони різання та зменшення контактних температур, які за умов чорнового оброблення складають $\theta = (200 - 300)^\circ\text{C}$. Фізико-механічні характеристики алюмінієвих сплавів та фізичні умови процесу оброблення різанням обумовлюють застосування для оброблення алюмінієвих сплавів високих швидкостей різання.

Алюмінієві сплави за технологічними процесами виготовлення заготовок поділяють на сплави для лиття, сплави для пластичного деформування та сплави, які отримують за технологічними процесами порошкової металургії САС - спечені алюмінієві сплави та САП-спечена алюмінієва пудра.

Основні характеристики алюмінієвих сплавів для лиття визначає стандарт ГОСТ 1583-93 і за переважними легуючими елементами поділяє їх на п'ять технологічних груп:

- алюмінієві сплави на основі системи - $Al - Si - Mg$;
- алюмінієві сплави на основі системи - $Al - Si - Cu$;
- алюмінієві сплави на основі системи - $Al - Cu$;
- алюмінієві сплави на основі системи - $Al - Mg$
- алюмінієві сплави на основі системи - Al та інші компоненти в тому числі Ni, Zn, Fe .

Фізико-механічні характеристики алюмінієвих сплавів для лиття змінюються у достатньо широкому діапазоні, так у відповідності до стандарту ГОСТ1583-93 алюмінієвий сплав АК12 має границю міцності $\sigma_e=147\text{МПа}$, поверхневу твердість 50НВ та відносне подовження $\delta=4\%$, алюмінієвий сплав АК5М4 має границю міцності $\sigma_e=118\text{МПа}$, поверхневу твердість 60НВ. Разом з тим, алюмінієвий сплав АМ4,5Кл (ВАЛ10) має границю міцності $\sigma_e=490\text{МПа}$, поверхневу твердість 120НВ та відносне подовження $\delta=4\%$ при застосуванні термічного оброблення Т6, яке включає гартування та повне штучне старіння.

Алюмінієві сплави для виготовлення заготовок методами пластичного деформування поділяють на зміцнювані та не зміцнювані термічним обробленням. Фізико-механічні характеристики цієї групи алюмінієвих сплавів змінюються в широкому діапазоні: так не зміцнюваний сплав АДМ має границю міцності лише $\sigma_e=80\text{МПа}$ та поверхневу твердість 25НВ,

а зміцнюваний сплав В96 після гартування та штучного старіння має характеристики, які не поступаються конструкційним сталям $\sigma_s=670\text{МПа}$ та поверхневу твердість 190НВ [2].

При лезовому обробленні алюмінієвих сплавів в зоні утворення стружки виникають значні пластичні деформації, що значно ускладнює видалення стружки з зони оброблення, а підвищений коефіцієнт тертя алюмінієвих сплавів з інструментальними матеріалами є джерелом утворення наросту в дуже широкому діапазоні зміни швидкості різання. Для проектування ефективних умов лезового оброблення алюмінієвих сплавів, які зменшують або виключають утворення наросту в процесі різання, доцільно практично використовувати наступні методи боротьби з його утворенням:

- управління фізико-механічними характеристиками оброблюваного матеріалу (зменшення запасу пластичності обробного матеріалу);
- застосування інструментальних матеріалів та поверхневих покриттів на робочих поверхнях інструменту, які не схильні до утворення наросту;
- застосування геометричних параметрів леза інструменту, які виключають утворення наросту;
- введення в зону оброблення додаткових джерел енергії (наприклад вібраційне різання);
- застосування відповідних змащувальне-охолодних технологічних середовищ (ЗМОТС);
- збільшення величини швидкості різання за границю зони утворення наросту, яка залежить від характеристик оброблюваного матеріалу.

Для оброблення алюмінієвих сплавів з вмістом кремнію $Si \leq (7-8\%)$ доцільно використовувати інструментальні матеріали з малими та особливо малими розмірами карбідів та робочими поверхнями без покриттів, а для матеріалів з більшим вмістом кремнію необхідно використовувати інструменти зі спеціальними PCD вставками для оброблення алюмінію. Алюмінієві сплави з вмістом кремнію $Si > 12\%$ характеризується підвищеною абразивною здатністю. За даними технічних спеціалістів фірми Sandvik Coromant оброблюваність алюмінієвих сплавів визначають три основні фактори:

- фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу;
- характеристики інструментального матеріалу;
- геометричні параметри леза інструменту та параметри шорсткості його робочих поверхонь.

За результатами досліджень технологічних процесів виготовлення деталей машин із алюмінієвих сплавів встановлено, що ефективні лезові різальні інструменти для оброблення алюмінієвих сплавів можуть виготовлятися із швидкорізальних інструментальних сталей HS (High Speed steel) DIN EN ISO 4957:2000 та ГОСТ 19265-73, металокерамічних твердих сплавів на основі вольфраму (HW) ГОСТ 3882-74, без вольфрамових твердих сплавів (HT) (ГОСТ 26530-85), сплавів зі зносостійкими покриттями (HC) та синтетичних надтвердих матеріалів DM (Monocrystalline Diamond) та DP (Polycrystalline Diamond).

Швидкорізальна сталь P6M5 (HS6-5-2) використовується для виготовлення різальної частини різців, свердел, зенкерів, розверток та мітчиків. З швидкорізальних сталей P6M5K5 (HS6-5-2-5) та P9M4K8 (HS10-4-3-10) виготовляють складні багатолезові різальні інструменти: протяжки, довбачі та кінцеві фрези [3]. Подальше поліпшення характеристик швидкорізальних сталей забезпечує застосування технологій порошкової металургії. Для позначення швидкорізальних сталей, які виготовляються за такою технологією в марках сталі вказується технологія їх виготовлення P6M5K5-МП, P9M4K8-МП. Такі інструментальні матеріали мають поліпшені фізико-механічні характеристики (високу карбідну однорідність) в порівнянні з матеріалами, що виготовляються за традиційними технологічними процесами і забезпечують підвищення періоду стійкості інструментів в (1,2-2,0) рази в порівнянні з матеріалами однакового хімічного складу.

Для лезового оброблення алюмінієвих сплавів рекомендується використовувати однокарбідні тверді сплави групи ВК, а саме: ВК3-М, ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ та ВК8 (N30) [3]. Металокерамічні тверді сплави з малими та особливо малими розмірами карбиду вольфраму ВК6-М та ВК6-ОМ забезпечують отримання в процесі загострювання зменшені радіуси округлення різальних кромки, що є важливою умовою ефективного оброблення алюмінієвих сплавів. Аналогічними є рекомендації по застосуванню закордонних твердих сплавів N15 та N20D-(N20)

малої зернистості з відмінним поєднанням міцності та твердості. Гостра різальна кромка таких матеріалів зберігається на протязі всього періоду стійкості леза інструменту. Нанесення зносостійкого покриття $TiAlN$ забезпечує підвищення зносостійкості сплаву та зменшує схильність сплаву до утворення наросту і тому є пріоритетним для оброблення алюмінієвих сплавів з вмістом кремнію $Si < 12\%$.

Незважаючи на значні досягнення по вдосконаленню технологічних процесів виготовлення мінералокерамічних твердих сплавів їх використання для оброблення алюмінієвих сплавів є недостатньо ефективним.

В технологічних процесах оброблення алюмінієвих сплавів значно зростає застосування лезових інструментів, різальна частина яких оснащена надтвердими інструментальними матеріалами-природними або синтетичними алмазами. Такі інструменти застосовуються переважно для чистового та викінчувального оброблення алюмінієвих сплавів для досягнення підвищених характеристик якості обробленої поверхні. Низький коефіцієнт тертя з конструкційними матеріалами, висока теплопровідність алмазних інструментів забезпечує інтенсивне відведення теплоти з зони різання та зменшення контактних температур, що дозволяє значно підвищити швидкість різання в порівнянні з твердосплавними інструментами.

Останні розробки нових покриттів для інструментальних матеріалів формують нові технологічні можливості оброблення різанням. Алмазоподібні (Diamond-Like Coating (DLC) [4]) покриття аморфного типу складаються з атомів вуглецю, як з алмазними так і графітоподібними зв'язками. Такі покриття наносяться на робочі поверхні леза інструментів методами фізичного осаджування з газової фази (PVD) та хімічного осаджування з газової фази, що активується плазмою (PACVD) та мають товщину в межах (1-30)мкм. Враховуючи, що технологічна температура нанесення покриття знаходиться в межах $\theta=300^\circ\text{C}$, такі покриття можна використовувати для підвищення роботоздатності різальних інструментів із швидкорізальних сталей. Найчастіше товщина покриття складає (5-10)мкм і характеризується високою твердістю, що забезпечує його високу зносостійкість та найменшим із відомих інструментальних матеріалів коефіцієнтом тертя, що особливо важливо при обробленні різанням, як більшості алюмінієвих сплавів так і сплавів з підвищеним вмістом кремнію.

Зношування лезових різальних інструментів при обробленні алюмінієвих сплавів має свої особливості. Традиційні ознаки зношування по передній поверхні у вигляді лунки та по задній у вигляді площинки зносу при обробленні алюмінієвих сплавів не спостерігається. Зношування проявляється у збільшенні радіуса округлення головної різальної кромки та формування заокругленої фаски, яка утворює від'ємний передній кут в межах $\gamma = (12 - 15)^\circ$.

При зношуванні алмазних різців сила різання зростає значно менше в порівнянні з твердосплавним інструментом і, головним чином, її незначне зростання спостерігається у початковий період роботи алмазного інструмента, а збільшення радіуса округлення різальних кромок є незначним у порівнянні з твердосплавними або швидкорізальними інструментами.

Незначне зростання сили різання обумовлює і меншу роботу різання та кількість теплоти, що буде при цьому утворюватися. Навіть при високих швидкостях різання контактні температури не перевищують $\theta=(200-250)^\circ\text{C}$, що визначає не суттєві температурні деформації заготовки та інструменту в процесі оброблення.

Висновки по роботі.

1. Для лезового оброблення алюмінієвих сплавів ефективними інструментальними матеріалами є незначна кількість відомих на сьогодні інструментальних матеріалів, рекомендації по застосуванню яких наведені в даних дослідженнях.

Список використаних джерел

1. Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Способы обработки материалов: Учебное пособие / Калинингр. ун-т – Калининград, 2000.– 448с.
2. Бобровский А.В. и др. Резание цветных металлов: Справочник / А.В. Бобровский, О.И. Драчев, А.В. Рыбьяков.-СПб.: Политехника, 2001.-200с.
- 3.Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технологии, применение) Справочник/ В.М. Белецкий, Г.А. Кривов Под общей редакцией академика РАН И.Н. Фриндландера-К.: «КОМИНТЕХ», 2005.-365с.
4. Davim P. Machining: Fundamentals and Recent Advances. London: Springer-Verlag London Limited, 2008. 361p.