

Лекція 3. Види деформації при обробці металів тиском

План

1. Класифікація деформації за С.І. Губкіним.
2. Гаряча пластична деформація.
3. Холодна пластична деформація.
4. Властивості металу після деформації.
5. Структура металу після деформації.

У зв'язку з тим, що пластична обробка металу виконується з різними швидкостями і ступенем деформації, а процес рекристалізації триває деякий час, величина якого визначається головним чином температурою, С. І. Губкін запропонував розрізняти гарячу, неповну гарячу, холодну неповну і холодну деформації.

1. Гаряча деформація виконується при таких температурах і швидкостях, що рекристалізація встигає відбутися в повній мірі безпосередньо в процесі обробки або після неї. В умовах гарячої деформації найчастіше здійснюють більшість процесів прокатки, штампування, пресування.

2. В умовах неповної гарячої деформації процес рекристалізації при формозміні і під час охолодження завершується не повністю. В даному випадку в оброблюваному тілі матимуть місце два різних типи мікроструктур: рекристалізована і не рекристалізована. Все це призводить до збільшення нерівномірності деформації, до появи залишкових напружень, які в певних умовах є причиною порушення суцільності металу. Тому неповну гарячу деформацію не слід застосовувати, тому що вона сприяє одержанню виробів зі зниженими механічними властивостями. Найчастіше цей вид деформації можна спостерігати при обробці сплавів, що мають низькі швидкості рекристалізації. Тому їх обробка ведеться з

малими швидкостями (наприклад, ряд алюмінієвих і магнієвих сплавів, що представляють багатofазні метастабільні системи).

3. Неповна холодна деформація ведеться при температурах, коли відсутня рекристалізація, але повернення встигає протікати внаслідок переходу атомів в нові місця, відповідні зменшення потенційної енергії металу.

4. При холодній деформації процеси рекристалізації і повернення повністю відсутні, а структура металу відображає всі зміни, які відбулися в процесі деформації.

Гаряча пластична обробка металу за об'ємом виробництва знаходить більш широке практичне застосування, ніж холодна, незважаючи на високу вартість і додаткові труднощі, пов'язані з нагріванням і управлінням процесу при високих температурах. Застосуванні гарячої обробки пояснюється наступними двома основними причинами: при температурах гарячої обробки, як правило, різко підвищується пластичність металу і завжди помітно знижується необхідне зусилля на деформацію, а в зв'язку з цим знижується необхідна потужність на деформацію металу.

Процес гарячої обробки виконують звичайно в інтервалі температур інтенсивного росту зерна. Однак деформація, як правило, здійснюється настільки швидко, що зерна не встигають вирости, а знову роздроблюються. Все ж для отримання дрібнозернистого металу у виробі необхідно на останній стадії обробки забезпечити значну деформацію, а температуру металу до цього часу слід знизити до величини, при якій зростання зерна в процесі охолодження буде незначним.

Відзначивши ряд переваг гарячої пластичної обробки металу, необхідно вказати на притаманні їй певні недоліки, а холодну обробку роблять економічно вигідною. Основними недоліками гарячої обробки металу в порівнянні з холодною є:

1. При пластичній обробці металу, коли вироби мають малий перетин або товщину (наприклад, тонкий лист, катанка), важко підтримувати необхідну температуру металу в процесі деформації, оскільки відношення поверхні виробів до об'єму досить велике, а отже, дуже великі втрати тепла. Найчастіше гарячої обробкою виготовляють вироби, товщина яких перевищує 2-3 мм, а діаметр - 5-7 мм.

2. При гарячій обробці більшість металів швидко покривається плівкою окалини як в процесі нагріву, так і при операціях пластичної деформації (повітряна або вторинна окалина). Це ускладнює надання точних розмірів виробу, призводить до погіршення зовнішнього вигляду поверхні і появи інших дефектів. Окислену поверхню металу часто очищають тим чи іншим способом, а це вимагає великих витрат на установку відповідного обладнання та виконання самого процесу очищення. Крім того, кількість металу, втраченого в окалині, становить значну величину.

3. Завдяки процесу рекристалізації гаряча обробка не забезпечує отримання виробів з високою міцністю, твердістю та іншими властивостями, характерними для холоднодеформованого металу. Крім того, гарячODEформованому металу властива більш висока неоднорідність властивостей по перетину та довжині оброблюваного тіла, так як температура виробу при виконанні технологічного процесу не піддається строгому регулюванню, що призводить до розбіжності в розмірі зерен, а отже, різниці механічних та інших властивостей.

Таким чином, за гарячої обробкою залишаються переваги, коли потрібні значні абсолютні обтиснення, тобто при виготовленні виробів порівняно великих розмірів поперечного перерізу.

Холодна деформація використовується головним чином на кінцевих стадіях виготовлення виробів, коли потрібно отримати точні розміри,

висока якість поверхні і необхідні механічні властивості - міцність і твердість.

Холодна обробка тиском призводить до значної зміни механічних, фізичних і хімічних властивостей металу. У деформованому металі зі збільшенням ступеня деформації збільшуються всі показники опору деформуванню: границя пружності, пропорційності, плинності і міцності. Збільшується також твердість металу. Одночасно з цим спостерігається зменшення показників пластичності (відносне подовження, відносне звуження, ударна в'язкість); збільшується електричний опір, зменшуються опір корозії і теплопровідність, змінюються магнітні властивості феромагнітних металів і т.п. Сукупність процесів, зв'язаних зі зміною механічних і фізико-хімічних властивостей металів у процесі пластичної деформації, називається зміцненням (нагартуванням).

Збільшення міцності відбувається особливо інтенсивно на початкових стадіях деформації (приблизно до 25%); при подальшому підвищенні ступеня деформації інтенсивність зміцнення знижується.

У процесі холодної деформації відбуваються міжкристалітні і внутрішньокристалітні порушення, з'являються субмікроскопічні тріщини, які з підвищенням ступеня деформації збільшуються, що до зменшення пластичності металу (метал стає ламким, крихким). Аналогічно зміцненню, інтенсивність зниження пластичності найбільша на початкових стадіях деформації (приблизно до 25%). Зміна опору в залежності від ступеня деформації схематично представлена на рис. 3.1.

Зниження пластичності є більшим при схемах навантаженого стану, які мають розтягаючі напруження, ніж при схемі всебічного стиснення.

При холодній обробці форма зерен змінюється у відповідності до схеми деформації всього полікристала – зерна витягаються в напрямку деформації стиснення.

Так зерна, які мали до деформації металу сферичну (або сфероподібну) форму при осадженні розплющуються в диски, при волочінні витягаються у волокна, і при прокатці приймають ланцетоподібну форму. Метал набуває волокнистої будови.

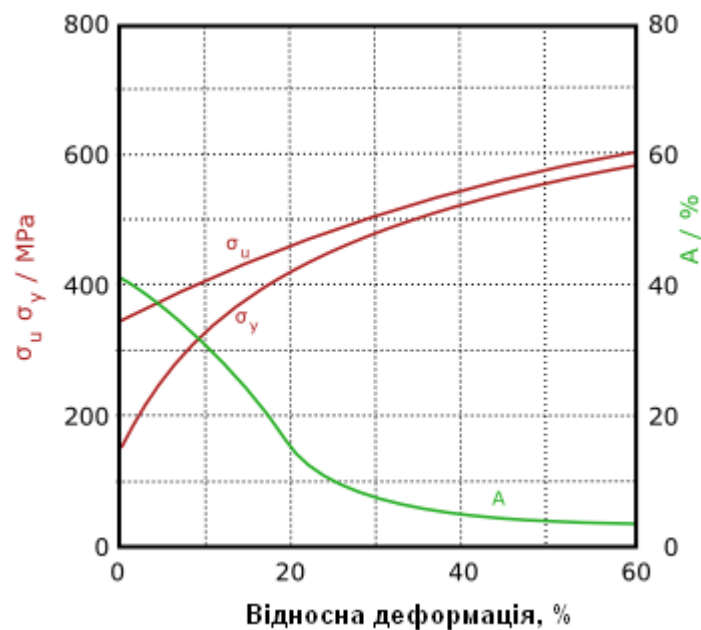


Рисунок 3.1 – Залежність опору деформації і пластичності сталі 08кп від відносної деформації

Волокниста будова призводить до того, що механічні властивості нагартованого металу будуть неоднаковими в різних напрямках - паралельно і перпендикулярно довгій осі зерна метал стає анізотропним. Анізотропію, що зумовлена волокнистою будовою, називають механічною анізотропією. При високих ступенях деформації зерна можуть також дробитися, подрібнюватися.

При холодній обробці тиском полікристалів поряд зі зміною форми зерен відбувається зміна орієнтування їхніх решіток у результаті кристалографічної спрямованості ковзання по певних площинах напрямках. До деформації зерна розташовані хаотично, що дозволяє

вважати полікристал квазіізотропним. У процесі деформації поступово відбувається зміна орієнтування решіток так, що більшість зерен своїми кристалографічними елементами розташовується однаково, тобто утворюється текстура деформації.

Текстура металів, у яких усі або більшість зерен мають однакове орієнтування, призводить до того, що полікристал набуває властивостей, близьких до властивостей монокристала - він стає кристалічно-анізотропним.

Поява текстури деформації спостерігається при ступенях деформації приблизно 50%, і ступінь текстури збільшується з ростом ступеня деформації. Утворення текстури деформації відіграє велику роль у таких процесах обробки металів тиском, як холодна прокатка тонких штаб і стрічок, волочіння дроту, де ступінь деформації досягає великих значень.

Гаряча обробка металів тиском є основним видом обробки. Основна перевага гарячої обробки металів тиском у порівнянні з холодною - значно менший опір деформації і, як правило, збільшення пластичності при підвищенні температури. Це дозволяє вести обробку з великими частковими і загальними ступенями обтиску при менших силах і витратах енергії. При гарячій обробці одночасно з процесом деформації відбувається і процес рекристалізації. Поряд зі зміцненням у результаті деформації відбувається знеміцнення під впливом високої температури, що перевищує температуру початку рекристалізації. У багатофазних сплавах може відбуватися перекристалізація з фазовими перетвореннями.

Основні механізми пластичної деформації при гарячій обробці ті ж самі, що і при холодній: внутрішньозеренне ковзання і двійникування та міжзеренне взаємне переміщення і поворот зерен.

Температура є чинником, що найбільш сильно впливає на міцність металів. При підвищенні температури збільшується амплітуда теплових

коливань атомів, усі показники міцності, у тому числі опір деформації, знижуються.

Зниження опору деформації з підвищенням температури відбувається не монотонно. Якщо при підвищенні температури в сплаві відбуваються фізико-хімічні процеси, це може призвести до підвищення опору деформації в інтервалі температур протікання цих процесів.

Так, в інтервалі температур фазових перетворень у сталі при підвищенні температури опір деформації збільшується. Пояснюється це тим, що фазові перетворення і обумовлена ними зміна об'єму відбуваються неодноразомно у всіх зернах, що призводить до появи додаткових напружень між зернами і до підвищення опору деформації.

В інтервалі температур старіння опір деформації підвищується через блокування систем ковзання дисперсійними частками другої фази, що випали з розчину.

Однак А.А. Бочвар встановив, що на сплавах з алюмінієм при деформації в області температур перетворення спостерігається значне зміцнення опору деформації при дуже значному збільшенні пластичності це аномальне явище, назване А.А. Бочваром надпластичністю, у подальшому спостерігалось іншими дослідниками на інших сплавах кольорових металів і на сталях. Закономірності надпластичності і досі є предметом наукових досліджень.

На рис. 3.2 наведена залежність границі міцності деяких вуглецевих сталей від температури. З рисунка видно порушення монотонності зниження міцності з підвищенням температури в інтервалі температур фазових перетворень.

Гаряча обробка тиском звичайно закінчується при температурах вище температури верхньої критичної точки A_{c3} , тому залежність опору деформації від температури для сталі можна вважати практично монотонною.

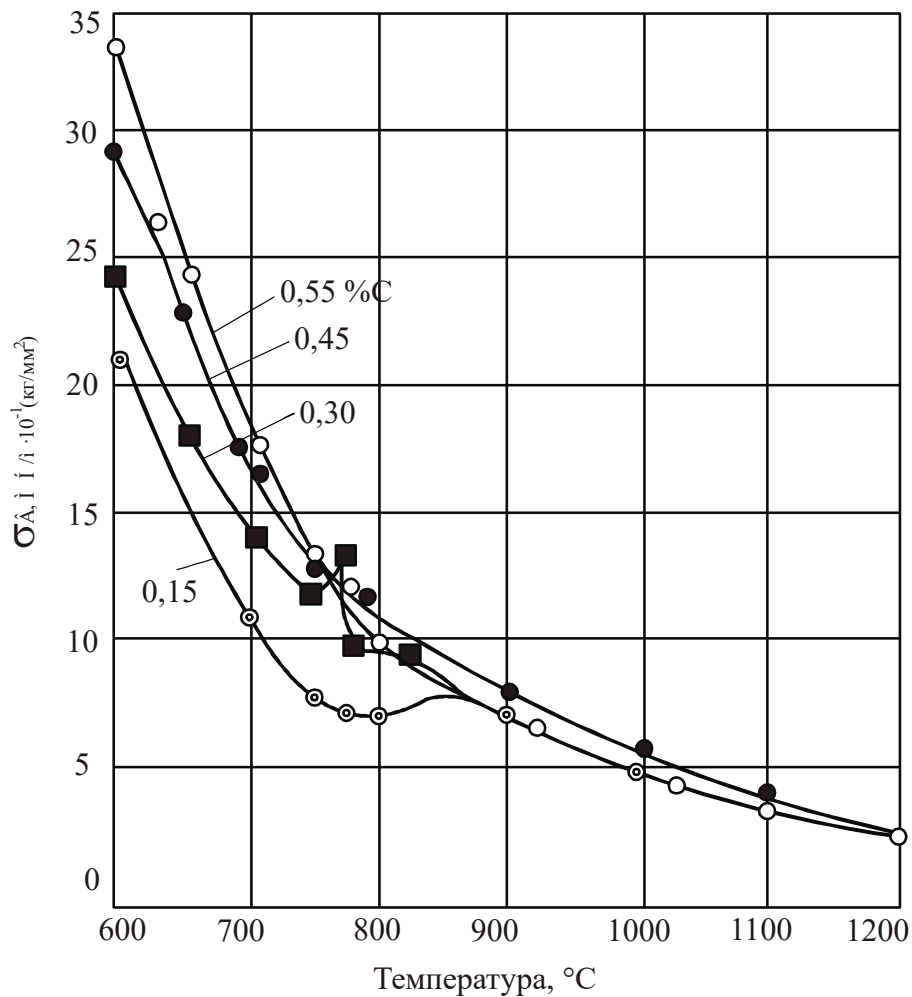


Рисунок 3.2 – Залежність границі міцності сталі (0,15–0,45% C) - від температури

Характер зміни опору деформації при зміні температури залежить від хімічного складу сплаву. Як правило, летючі домішки, підвищують опір деформації. Багато домішок у високолегованих сплавах підвищують опір сталі при високих температурах у кілька разів. Вуглець при підвищенні температури до $950\div 1000$ $^{\circ}\text{C}$ збільшує опір деформації сталі. При подальшому підвищенні температури і вмісту вуглецю високовуглецеві сталі чинять навіть трохи менший опір деформації, ніж маловуглецеві. Це можна пояснити зменшенням температури плавлення сталі з підвищенням вмісту вуглецю.

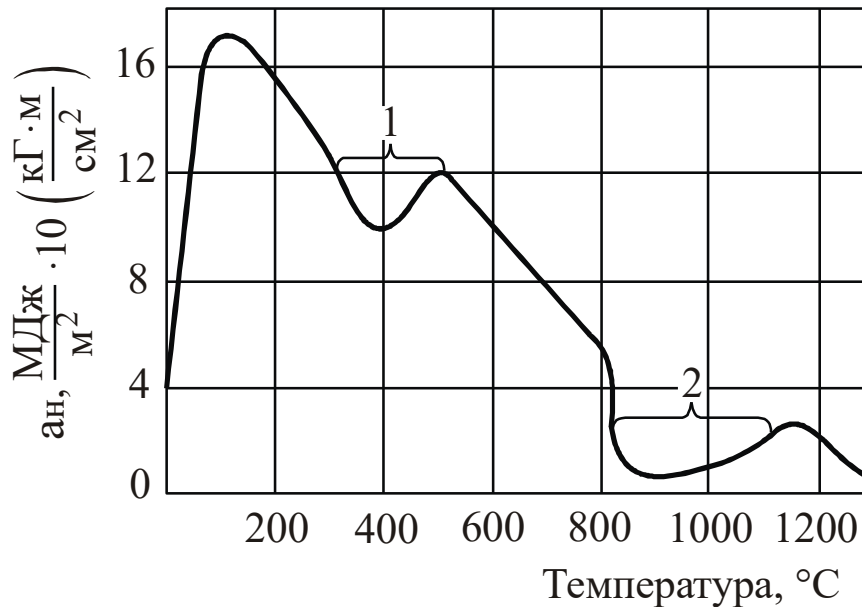
Як правило, з підвищенням температури пластичність підвищується завдяки дифузійним процесам, які призводять до заліковування порушень границь зерен (термічна пластичність). Домішки, як правими, знижують пластичність чистих металів у всьому діапазоні температур гарячої обробки тиском.

Пластичність з ростом температури збільшується немонотонно. У зв'язку з дією домішок і легуючих добавок, що утворюють з основним компонентом легкоплавкі евтектики, в інтервалі деяких температур пластичність різко зменшується (спостерігається "провал" пластичності). Так, технічно чисте залізо виявляє крихкість в інтервалі температур $900\div 1000$ °C (червоноламкість) у зв'язку з розплавленням евтектики. Провал пластичності може бути викликаний також появою неоднорідності структури у зв'язку із фазовими перетвореннями, випаданням дисперсних часток із твердого розчину.

На рис. 3.3 представлена залежність ударної в'язкості технічно чистого заліза від температури. На рисунку видно провали пластичності в інтервалі температур $300\div 500$ °C (синьоламкості) та $850\div 1000$ °C (червоноламкість).

Коли температура нагрівання є близькою до температури плавлення, пластичність різко знижується через перегрів і перепад. Перегрів виражається в надмірному рості зерен (попередньо деформованого металу), що знижує пластичність. Перегрів сталі може бути виправлений її нагріванням до температур вище температурного інтервалу фазових перетворень з наступним швидким охолодженням на повітрі (нормалізація).

Перепад (непоправний брак) полягає у тому, що при тривалій витримці при високих температурах в окисній атмосфері печі відбувається окислювання границь великих зерен перегрітого металу; зерна виявляються ізольованими одне від одного і метал руйнується крихко.



1 - зона синьоламкості, 2 - зона червоноламкості

Рисунок 3.3 – Залежність ударної в'язкості технічно чистого заліза від температури

Як було зазначено вище, при гарячій обробці тиском одночасно відбуваються два процеси, що діють на опір деформації в протилежних напрямках: зміцнення (нагартування) і знеміцнення (повернення та рекристалізація). Повернення (тобто процес повернення атомів решітки до положень із меншою потенціальною енергією) протікає в часі; із збільшенням температури швидкість повернення збільшується. У зв'язку з цим ефект повернення залежить від співвідношення між температурою і швидкістю деформації. Підвищення швидкості деформації при даній температурі може знизити ефект повернення.

Збільшення температури металу, що деформується, вище температури повернення призводить до виникнення процесу рекристалізації.

Рекристалізація при пластичній деформації полягає в появі зародків, виникненні і рості нових зерен замість деформованих.

Обидва процеси протікають у часі. Швидкість зміцнення визначається швидкістю деформації, а швидкість знеміцнення - швидкістю рекристалізації, що залежить від температури металу.

Про хід зміни показників міцності і пластичності зі збільшенням температури можна судити за графіком, наведених на рис. 3.4. З графіку видно, що нагрів вуглецевої сталі приблизно до 100 °С трохи збільшує пластичність і зменшує опір деформуванню. Надалі збільшення температури приблизно до 300 °С значно зменшує пластичність і збільшує міцність (зона синьоламкості).

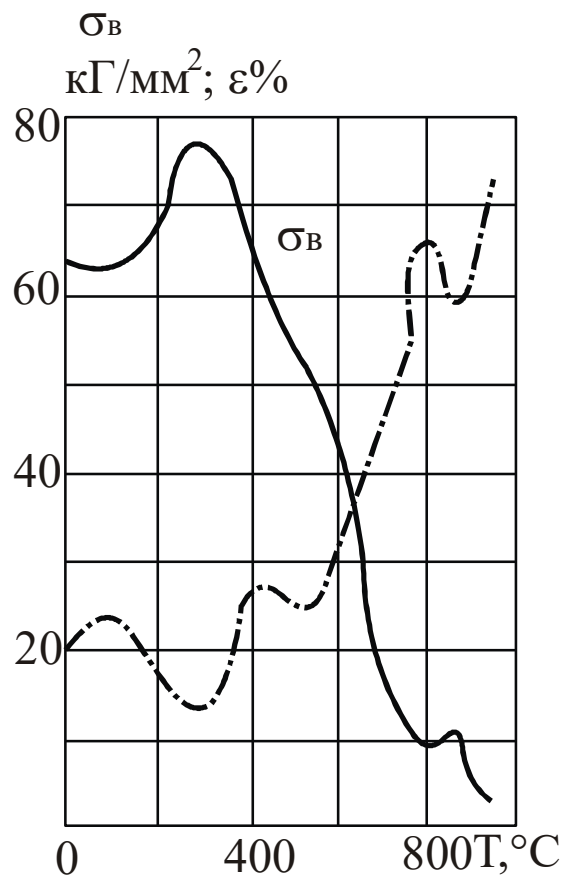


Рисунок 3.4 – Залежність міцності та пластичності від температури

Це пояснюється випаданням дрібних часток карбідів по площинах ковзання аналогічно процесу старіння. Далі збільшення температури

приведе до поступового, але значного зменшення міцності. При температурах порядку 1000 °С границя міцності зменшується більш ніж у 10 разів.

Загальним положенням для всіх металів і сплавів є σ_B , що найбільшу пластичність вони мають при температурах рекристалізації, тобто в умовах гарячого деформування, яким одночасно відповідають і малі значення показників міцності, а отже, і опору деформуванню. Небезпечними зонами температур, при яких спостерігається зменшення пластичності, є зони, у границях яких можливі фазові перетворення, неповна гаряча деформація або процеси старіння і синьоломкості.

Залежно від співвідношення швидкостей деформації і рекристалізації (зміцнення і знеміцнення) опір деформації при даній температурі змінюється: чим більше швидкість деформації, тим більше опір деформації. На опір деформації при даній швидкості і температурі впливає ступінь деформації: чим вище ступінь деформації, тим більше нагартування і опір деформації.

Залежність опору деформації при гарячій обробці тиском від хімічного складу, температури, швидкості і ступеня деформації дуже складна. Вплив усіх факторів на опір деформації належить розглядати спільно. Докладно ці залежності розглянуті в роботах М.А. Зайкова, Л.Д. Соколова, Й.Я. Гарновського, О.П. Чекмарьова і З.А. Ріднера. [4]

Для практичних розрахунків визначити опір деформації аналітично в залежності від зазначених факторів у більшості випадків неможливо, тому доводиться користуватися даними лабораторних досліджень цих залежностей.

Гаряча обробка тиском поліпшує властивості металу. При гарячій обробці руйнується первинна лита структура, а рекристалізація, що відбувається при цьому, дозволяє одержати рівноосні зерна бажаних розмірів. Гаряча обробка ущільнює метал (відбувається заварювання порожнеч). Особливо значне ущільнення відбувається при гарячій обробці

в умовах схеми всебічного стиснення. У результаті щільність металу підвищується, а об'єм зменшується (при холодній обробці тиском щільність зменшується, а об'єм збільшується).

У результаті подрібнення зерен, ущільнення, посилення зв'язків між зернами міцність і пластичні властивості металу після гарячої обробки тиском підвищуються.

Властивості металу після гарячої обробки (механічні характеристики, величина зерен) залежать від температурного режиму обробки, ступеня і швидкості деформації. У процесі гарячої обробки відбувається одночасно руйнування зерен у результаті деформації і зародження нових у результаті рекристалізації.

Для оцінки розміру зерен у результаті гарячої обробки останню можна розглядати як поєднання в часі процесів холодної обробки тиском і рекристалізації. Якщо гаряча обробка здійснюється в кілька операцій, що відбуваються одна за одною (кілька ударів молота, кілька проходів при прокатці), то розмір зерен, як правило, визначається, в основному, температурою і ступенем деформації в останньому проході, тобто режимом кінця гарячої обробки тиском.

Розміри рівноосних зерен у металі, який був деформований при наявності рекристалізації, залежать від температури рекристалізації, від ступеня і швидкості деформації. Зв'язок між розміром зерна після деформації з рекристалізацією, температурою і ступенем деформації звичайно ілюструється об'ємними *діаграмами рекристалізації*, що будуються за результатами спеціально проведених експериментів і є характерними для кожного металу і сплаву (першого роду - після холодної деформації; другого роду - після гарячої деформації; третього роду - після гарячої деформації та термічної обробки).

Особливістю залежності розміру зерна після деформації з рекристалізацією від ступеня деформації є наявність так званих критичних сту-

пенів деформації, при яких спостерігається різке збільшення розмірів рекристалізованих зерен. Критичний ступінь деформації коливається в границях $8\div 15\%$, а критична температура рекристалізації - у границях $750\div 850^{\circ}\text{C}$. Якщо температура кінця прокатки сталі вище $900\div 950^{\circ}\text{C}$ (вище тички A_{c3}), то зерна виходять дрібні незалежно від ступеня деформації. Пояснюється це тим, що при цій температурі закономірності процесу рекристалізації порушуються процесом перекристалізації, коли розмір зерен залежить від швидкості охолодження і майже не залежить від ступеня деформації. При дуже високій температурі кінця гарячої обробки виходять великі зерна через відносно тривале перебування при високих температурах після деформації.

Деякий вплив на залежність розміру зерен від температури і ступеня деформації при гарячій обробці має швидкість деформації: при підвищенні швидкості критичний ступінь деформації зміщується до менших значень ступеня деформації. У більшості випадків бажано одержувати дрібнозернистий метал, який має кращі механічні властивості. Тому потрібно створювати такі термомеханічні умови обробки, що виключають утворення великих зерен, тобто не допускати критичного ступеня деформації і високої температури обробки.