

УДК 669.14.018:621.78

ГІДРОДИНАМІЧНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ЗАМІНИ ГІДРОПРЕСУВАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИРОБІВ З ВИСОКОМІЦНИХ І МАЛОПЛАСТИЧНИХ СТАЛЕЙ²

Дуліч Д.В., ст. гр. МС - 41-19, ХНАДУ

***Анотація.** Досліджено структурні перетворення та властивості міцної, малопластичної пружинної сталі під впливом гідродинамічного видавлювання, а також подальшого стабілізуючого відпуску.*

***Ключові слова:** гідродинамічне видавлювання, деформація, ресорно-пружинна сталь, дислокаційна структура, механічні властивості, стабілізуючий відпуск.*

HYDRODYNAMIC TYPE IS AN EFFECTIVE WAY OF REPLACING HYDROPRESSING IN THE MANUFACTURE OF PRODUCTS FROM HIGH-STRENGTH AND LOW DUCTILITY STEEL

Dulich D.V., st. of gr. MC- 41-19, KHNADU

***Annotation.** Structural transformations and properties of strong, low-plastic spring steel under the influence of hydrodynamic extrusion, as well as subsequent stabilizing tempering were investigated.*

***Key words:** hydrodynamic extrusion, deformation, spring steel, dislocation structure, mechanical properties, stabilizing tempering.*

Вступ

Останнім часом в промисловості широко використовується метод гідростатичного пресування (гідроекструзія) для отримання заготовок, а частіше готових деталей.. Цей спосіб поза конкуренцією при використанні високоміцних та малопластичних матеріалів, бо має суттєві переваги: значна пластифікація металу і можливість якісної обробки його з великим ступенем деформації за один прохід, зменшення майже на 40% питомого тиску пресування і підвищення стійкості формуючого інструменту, покращення структури та властивостей металу, який оброблюється. В той же час спосіб малопродуктивний і дорогий. Пошук більш простого і дешевого способу виробництва заготовок із матеріалів, що важко деформуються холодною обробкою тиском, є актуальним питанням,

Стан питання

Гідроекструзія (ГЕ) – це пресування рідиною під великим тиском (від 10^3 до 10^4 МПа), коли метал знаходиться в умовах всебічного об'ємного стискання [1] У багатьох дослідженнях встановлено, що високий гідростатичний всебічний тиск та інтенсивна деформація значно змінюють властивості матеріалів, які оброблюються [2, 3]. Суттєве збільшення пластичності та зростання ударної в'язкості матеріалів при збереженні, а той підвищенні міцності, обумовлено формуванням специфічної більш досконалої дислокаційної (так званої барофрагментованої) субструктури (4-5). Підвищення майже в десятки разів пластичності при певному запасі ударної в'язкості дозволяє отримувати великі деформації (від 50 до 60 %) за один прохід без розшарування та тріщин при обробці навіть дуже міцних і крихких матеріалів. В багатьох випадках ГЕ є єдиним способом виготовлення виробів складної конфігурації і точних розмірів із ле-

² Робота виконана під керівництвом професора Дошечкіної І.В.

гованих міцних сталей з дуже низькою пластичністю. Однак ГЕ потребує складного і коштовного обладнання, яке відсутнє на багатьох металообробних підприємствах а сам процес виготовлення заготовок, або готових деталей є малопродуктивним. На наш погляд доцільним може стати використання простого і більш дешевого способу гідродинамічного видавлювання (ГДВ) заготовок для із легованих високоміцних сталей, якій є своєрідним різновидом ГЕ. Однак при цьому встає важливе питання можливості збереження усіх суттєвих переваг ГЕ при отриманні виробів деформуванням способом ГДВ. Вирішенню цього питання і присвячена робота.

Мета і постановка завдання

Мета роботи - з'ясувати можливість та доцільність використання способу ГДВ для виготовлення заготовок важко навантажених деталей із високоміцної низькопластичної сталі 45ХН2МФА.

Були поставлені завдання дослідити структуру і властивості сталі після деформуванням способом ГДВ та вплив наступного відпуску на стабілізацію структури деформованої структури.

Матеріал і методики досліджень

Об'єктом дослідження була сталь 4ХН2МФА після електрошлакового переплаву, хімічний склад якої наведений у таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад сталі

Вміст елементів, %								
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	P	S
0,43-0,50	0,5- 0,8	0,17- 0,36	0,9 - 1,1	1,3 - 1,8	0,2- 0,3	0,12-0,18	0,02	<0,02

Для виготовлення заготовки валу нагнітальника був використаний метод ГДВ, схема якого наведена на рисунку 1.

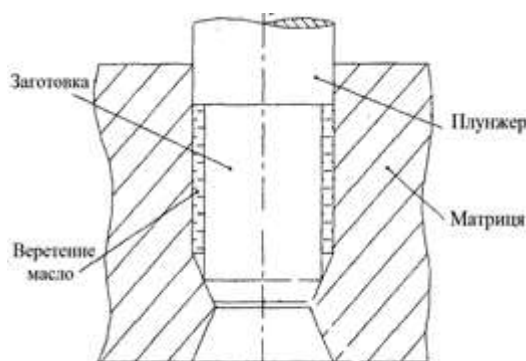


Рис. 1. Схема отримання заготовок методом ГДВ

Заготовки густо змащується веретенним маслом, яке є своєрідним квазірідким середовищем, і розміщується в контейнері. Під тиском це середовище діє лише на циліндричну поверхню заготовки, а її верхній торець контактує безпосередньо із металевим плунжером. При значному тиску плунжера на мастило створюються умови гідродинамічного видавлювання, реалізується схема всебічного стискання матеріалу. При такій схемі деформування майже повністю відсутні напруження розтягання дали можливість деформувати заготовку на 40% за один прохід.

Після деформації заготовки проводили стабілізуючий відпуск в інтервалі 250 –600° С з витримкою 2 години для забезпечення термічної стабільності субструктури деформованого металу.

Для досліджень використаний металографічний аналіз, електронна мікроскопія.

Дислокаційна структура досліджувалася методом трансмісійної електронної мікроскопії на РЕМ106.

Механічні характеристики (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , КСУ) та твердість сталі визначалися за стандартними методами.

..

Результати досліджень

У вихідному стані сталь 45ХН2МФА мала феритно – перлітну структуру з карбідами різної форми та розміром (рис. 2, а). Твердість сталі 225 НВ. З метою покращення структури та полегшення деформованості в холодному стані сталь піддавали сфероїдизуючому відпалу при 700 °С протягом 4 годин, який забезпечив структуру зернистого перліту і рівномірне розташування карбідів глобулярної форми (рис. 2, б). Твердість зменшилася до 187 НВ, що покращить оброблюваність тиском.

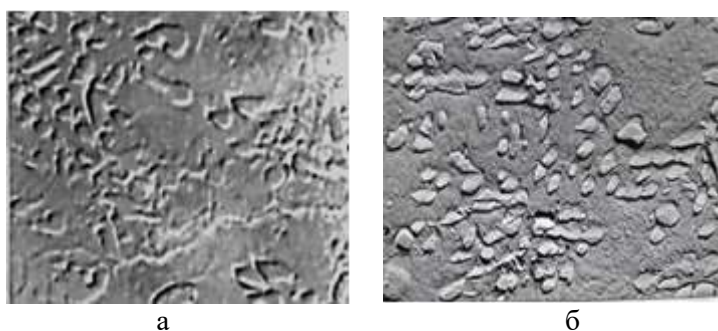


Рис. 2. Мікроструктура сталі в стані постачання (а) та після сфероїдизуючого відпалу (б); $\times 5000$

Після виготовлення заготовок гідровидавлюванням дослідженнями виявлені суттєві зміни структури та властивостей сталі. Деформація зі ступенем 35% призвела до витягування складових структури в напрямку дії деформаційної сили. (рис. 3). Твердість підвищилася до 323 НВ.

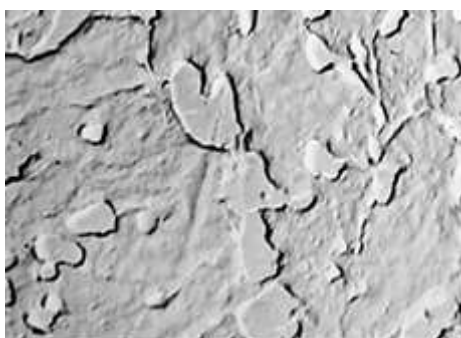


Рис. 3. Мікроструктура сталі після деформування зі $\epsilon = 35\%$, $\times 5000$

Після гідродинамічного видавлювання зафіксовано суттєве збільшення показників міцності, але при достатньо високих характеристиках пластичності сталі. У табл. 1.1 приведені властивості деформованої сталі при випробуванні на розтягування.

Як відомо, зміна властивостей внаслідок пластичної деформації обумовлена змінами дислокаційної будови і для їх виявлення була досліджена тонка структура сталі до та після гідродинамічного видавлювання (рис. 3). Результати свідчать, що деформація призводить до формування розвиненої коміркової субструктури, яка характеризується розорієнтацією окремих комірок (рис. 3, б). Це типова тонка структура металу, що утворюється при холодній деформації, і для неї характерна низка густина дефектів у середині комірок, границі яких являють собою дислокаційні сплетення. В середині комірок дислокації можуть вільно переміщатися і як наслідок забезпечення сталі запасу пластичності.

Таблиця 1 – Механічні властивості деформованої сталі 45ХН2МФА при розтягуванні

Вид обробки	Властивості					
	Бв, МПа	Б _{0,2} , МПа	Бпц, МПа	δ, %	δ _p , %	ψ, %
Вихідний стан	755	540	490	19	7,2	66,5
Деформація, ε = 35%	950	900	836	13	4,5	58

Після деформування важливе значення мають умови наступного відпуску, у процесі якого формуються стійка субструктура, яка забезпечує стабільність післядеформаційних змін.

При відпуску вище 400 °С свідчить про те, що превалюючими стають процеси повернення.

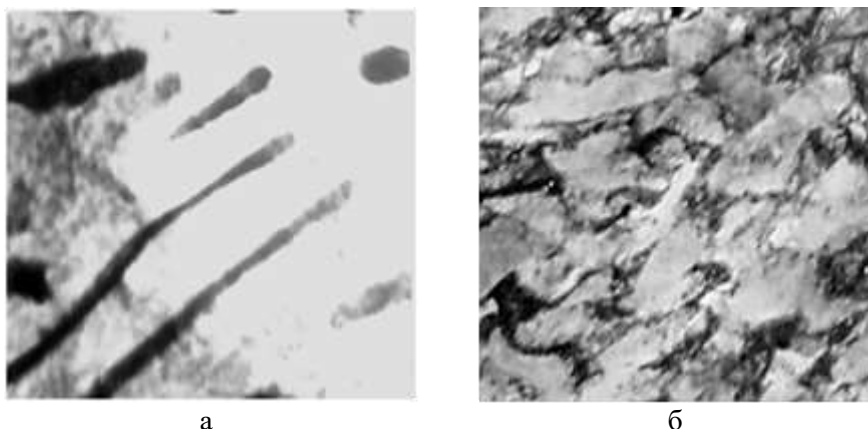
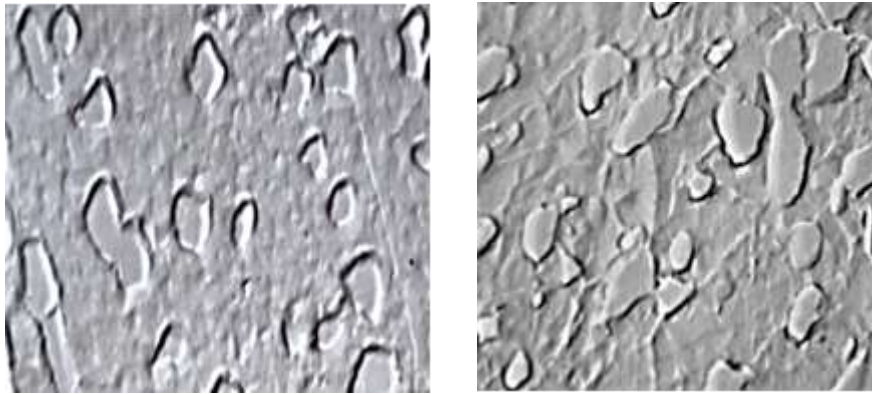


Рис. 3. Субструктура сталі до (а) та після) б) деформації; ×20000

Відмінностей структури деформованої сталі та після подальшого відпуску в оптичному мікроскопі не виявлено, що можна пояснити малою роздільною здатністю цих мікроскопів. Електронномікроскопічні дослідження показали, що відпуск при 350 °С не приводить до суттєвих змін структури, що підтверджується показниками властивостей. але з підвищенням температури до 600 °С фіксується укрупнення та деякий перерозподіл карбідної фази (рис. 4).



а

б

а – гідровидавлювання, відпуск 350 °С, 2 год;

б – гідровидавлювання, відпуск 600 °С, 2 год.

Рис. 4. Мікроструктура сталі 45ХН2МФА після гідродинамічного видавлювання та наступного відпуску, $\times 5000$

Твердість (рис. 5, а) та характеристики міцності (рис. 5, б). при випробуванні на розтягнення мають найбільше значення в інтервалі температур від 200 ° до 350 °С. Пластичність і ударна в'язкість (рис. 5, б і в) при цьому мінімальні.

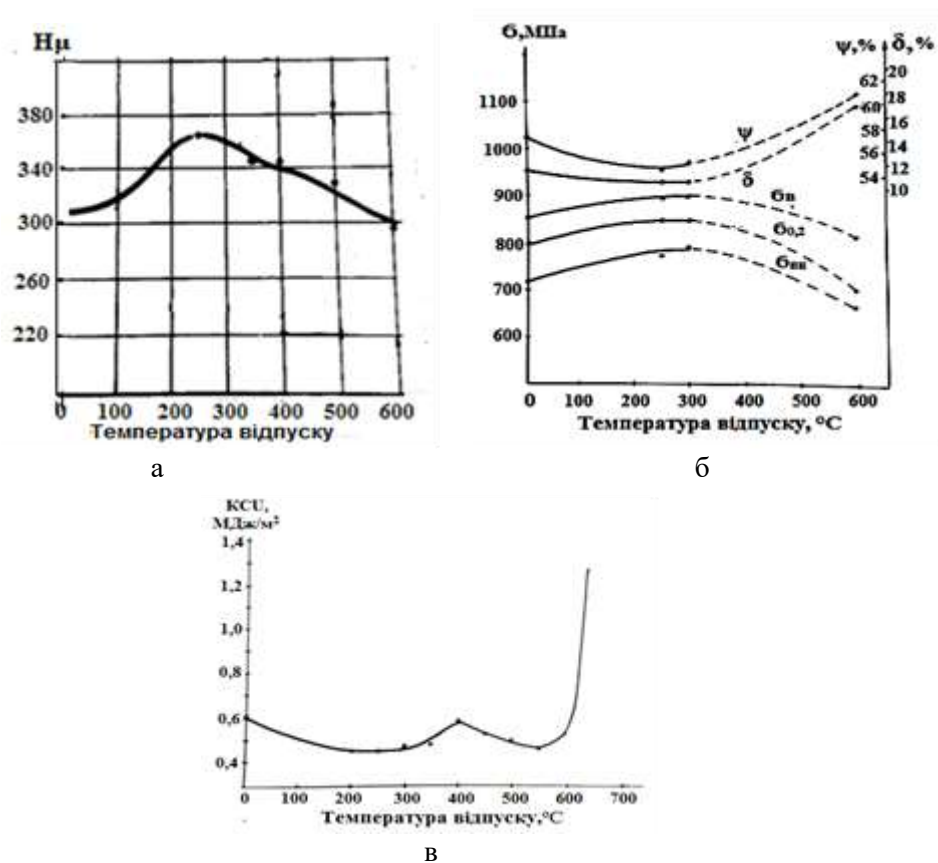


Рис. 5. Твердість (а) та механічні властивості (б, в) сталі після гідродинамічного видавлювання та наступного відпуску

Такі зміни властивостей гідроекструдованих сталей при наступному відпуску обумовлені перебігом двох конкуруючих процесів: деформаційного старіння та повернення.

Дослідження свідчать, що субструктура сталі, яка піддавалася відпуску в інтервалі температур від 200 до 300 °С, характеризується витягнутими комірками, по границях яких розташовані дисперсні карбіди (рис. 6). Далі відбувається звільнення внутрішніх об'ємів деяких комірок від хаотично розташованих дислокацій, удосконалення субграниць та укрупнення комірок, що зумовлено розвитком процесів повернення. Зниження твердості та міцності.

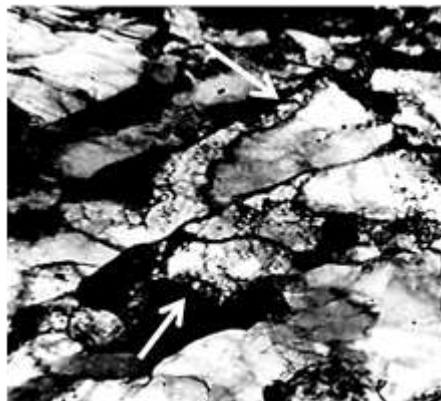


Рис. 6. Мікроструктура сталі після гідродинамічного видавлювання та відпуску при 300 °С протягом 2 год, $\times 20000$

Враховуючи характер процесів, які відбуваються при відпуску гідроекструдованої сталі, очевидно, що відпуск при температурах 300 - 350 °С є найбільш ефективним, бо приводить до вдосконалення і закріплення субструктури, отриманої після холодної деформації видавлюванням.

Висновки

1. Для зниження зусиль деформування та забезпечення рівномірності деформації міцної і малопластичної сталі 45ХН2МФА перед гідродинамічним видавлюванням необхідний попередній сфероїдизуючий відпал при температурі від 680 до 700 °С протягом 4 год.
2. При деформації гідродинамічним видавлюванням формується розвинена комірчаста субструктура, що забезпечує зміцнення сталі при збереженні досить високого запасу пластичності та ударної в'язкості.
3. Післядеформаційний відпуск в інтервалі температур від 300 до 400 °С приводить до вдосконалення коміркової субструктури та закріплення її дисперсними карбідними частинками, що забезпечує стабільність такої структури перед подальшою зміцнювальною термічною обробкою виробу.

Література

1. Гідроекрузія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://1677.slovaronline.com/31672>
2. Кондрашев П.В. Технологія конструкційних матеріалів Конспект лекцій / П.В. Кондрашев, О.Т.Сердітов, Ю.В. Ключников, А.М. Лутай. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 96 с.
3. Опальчук А.С. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник / Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є. – Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф". 2011. – 792 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни "Фізичні процеси при пластичній деформації" для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 136 «Металургія» за освіт-

ньо-науковою програмою «Обробка металів тиском» / Укл. О.В. Нікулін. – Кам'янське, ДДТУ. – 2019. – 43 с.

5. Недибалюк А.Ф. Вплив гідропресування на структуру і непружні властивості сталі ШХ15 / А.Ф. Ніжинський. – ВНТУ. – 2019. С. 23-28.