

УДК 669.14.018:621.78

ЕФЕКТИВНІСТЬ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ МІЦНОЇ МАЛОПЛАСТИЧНОЇ СТАЛІ

І.В. Дошечкіна¹, Д.В. Дуліч²

¹доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, e-mail: divkhadi@ukr.net

²студентка групи МС-41-19, e-mail: dara2001200219@gmail.com

^{1,2}Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

Анотація. В роботі досліджено структурні перетворення та властивості міцної, низькопластичної сталі під впливом гідродинамічного видавлювання, а також подальшого стабілізуючого відпуску.

Ключові слова: гідродинамічне видавлювання, деформація, низькопластична сталь, дислокаційна структура, механічні властивості, стабілізуючий відпуск.

EFFICIENCY OF PRODUCTS HYDRODYNAMIC EXTRUSION FROM LOW DUCTILITY STEEL

Iryna Doshchekina¹, Daryna Dulich²

¹Associate Professor, Department of Metal Technology and Materials Science, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: divkhadi@ukr.net

²Student, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: dara2001200219@gmail.com

Abstract. Structural transformations and properties of strong, low-plastic steel under the influence of hydrodynamic extrusion and subsequent stabilizing tempering were investigated in the work.

Keywords: hydrodynamic extrusion, deformation, low ductility steel, dislocation structure, mechanical properties, stabilizing tempering.

Вступ. Одним із найефективніших способів холодної об'ємної обробки металів тиском є гідроекструзія (ГЕ) – це пресування рідиною під великим тиском (від 103 до 104 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]. Поєднання високої пластичності та ударної в'язкості матеріалів при збереженні, а той підвищенні міцності, обумовлено формуванням специфічної більш досконалої дислокаційної (так званої барофрагментованої) субструктури (4,5). В багатьох випадках ГЕ є позаконкурентним способом обробки тиском високоміцних та малоп-

ластичних матеріалів, бо має безперечні переваги: значна пластифікація металу і можливість обробки його з великим ступенем деформації за один прохід без тріщин і розшарування, однорідність деформації, висока якість поверхні, значне зменшення (~ на 40%) питомого тиску пресування і підвищення стійкості матриць, покращення структури та властивостей металу, який оброблюється. Однак ГЕ має і суттєві недоліки – потребує складного і коштовного обладнання, якого ще недостатньо на металообробних підприємствах, а сам процес є малопродуктивним. На наш погляд доцільним може стати використання простого і більш дешевого способу гідродинамічного видавлювання (ГДВ) виробів із легованих високоміцних сталей, якій є своєрідним різновидом ГЕ. Вирішенню цього питання і присвячена робота.

Мета роботи полягає у з'ясуванні можливості використання способу ГДВ для виготовлення заготовок важко навантажених деталей із високоміцних низькопластичних сталей.

Було поставлене завдання дослідити структуру і властивості сталі після деформування способом ГДВ та вплив наступного відпуску на стабілізацію деформованої структури.

Матеріал і результат досліджень. Об'єктом дослідження була сталь 4ХН2МФА. Для виготовлення заготовки валу нагнітальника був використаний спосіб ГДВ, схема якого наведена на рис. 1.

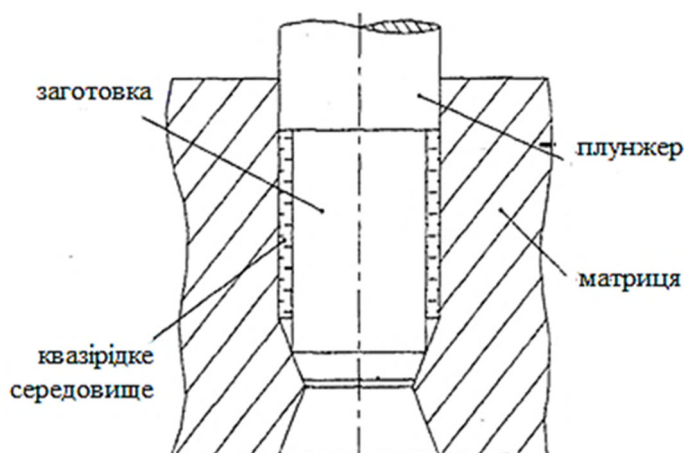


Рис. 1. – Схема отримання заготовок методом ГДВ

Заготовка густо змащується веретенним маслом, яке є своєрідним кваліфікованим 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 всебічного стискування, що приводить до пластифікації матеріалу заготовки, рівномірному розподілу деформації за її перерізом та до зниження зусилля пресування. Геометрія деформуючого інструменту і заготовки вибиралися з міркувань

досягнення в ступеня деформації $\varepsilon = 35\%$. Після деформації заготовки піддавали відпуску в інтервалі 100 – 600 °С з витримкою 2 години для забезпечення термічної стабільності субструктури деформованого металу.

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

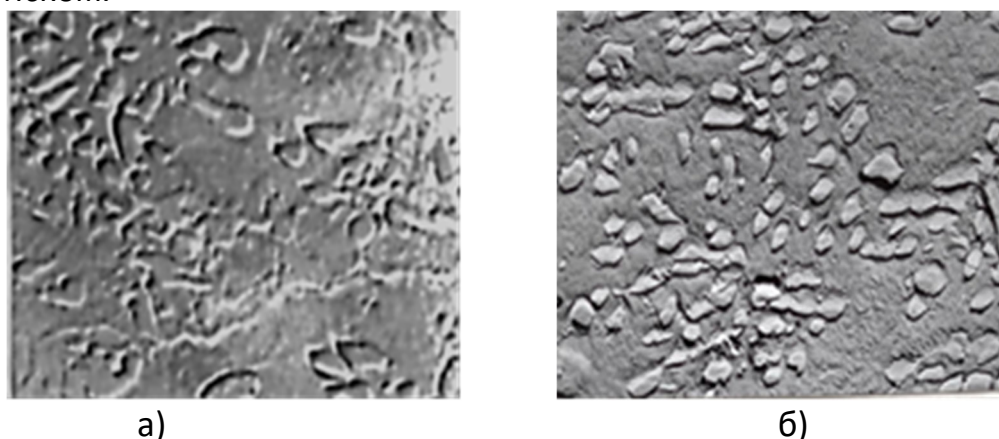


Рис. 2. – Мікроструктура сталі в стані постачання (а) та після сфероїдизуючого відпалу (б); $\times 5000$

Після гідродинамічного видавлювання зафіксовано суттєве збільшення показників міцності, але при достатньо високих характеристиках пластичності сталі. У табл. 1 приведені властивості деформованої сталі при випробуванні на розтягування. Твердість підвищилася до 325 НВ.

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, $\varepsilon = 35\%$	950	900	836	13	4,5	58

Так як зміни властивостей при пластичній деформації обумовлені передусім змінами дислокаційної будови була досліджена тонка структура сталі до і після ГДВ (рис. 3). Деформація призводить до формування розвиненої

коміркової субструктури, яка характеризується розорієнтацією окремих комірок (рис. 3, б), що відображає і вид електроннограм – у вихідному стані електроннограма точкова, а після холодного деформування фіксуються розмиті рефлекси. Це типова тонка структура металу, що утворюється при холодній деформації. Границі комірок являють собою дислокаційні сплетення, а в середині комірок дислокації можуть вільно переміщатися і як наслідок забезпечення запасу пластичності сталі.

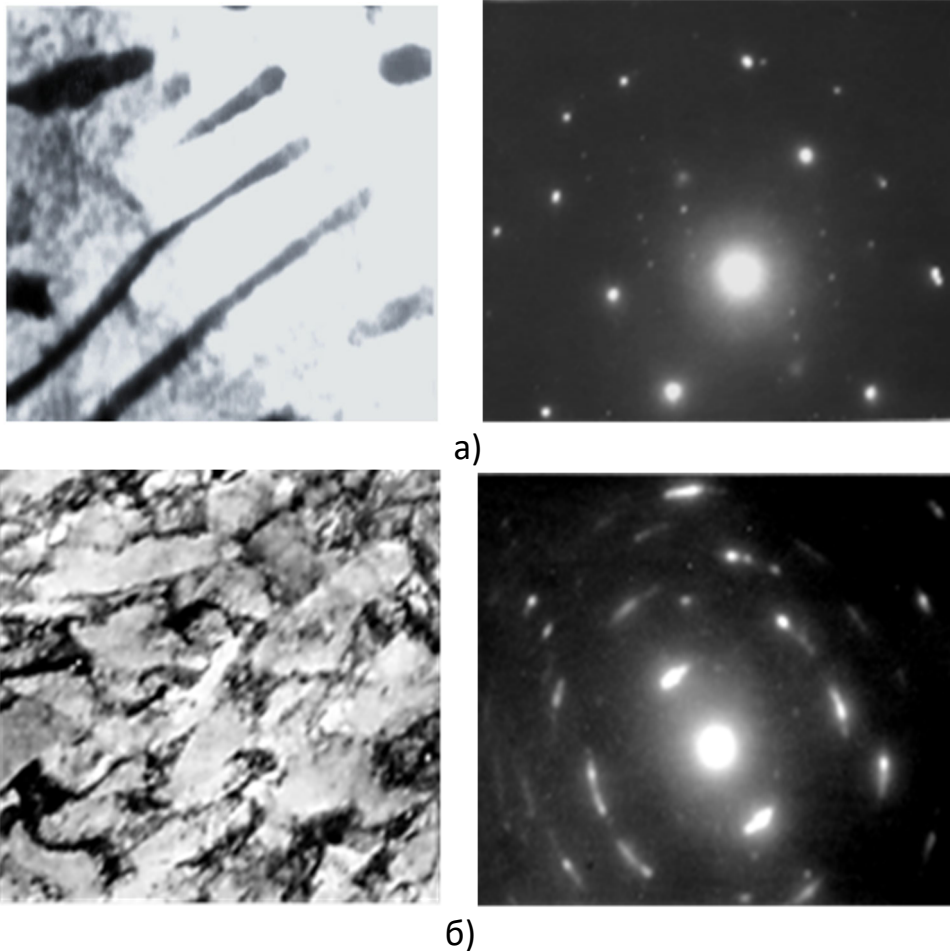


Рис. 3. – Субструктура та електроннограма сталі до (а) та після) б) деформації; $\times 20000$

Якість виробу після наступної термічної обробки в значній мірі залежить від рівномірності властивостей по перерізу деформованої заготовки. Тому в даній роботі було досліджено розподілення твердості за діаметром заготовки до деформації та після. Заготовки видавлювалися через матрицю з різним кутом конуса ($2\alpha = 20^\circ$ та 40°) для варіювання діючим тиском. Отримані результати показали, що деформація за перерізом деформованих заготовок однорідна незалежно від кутів конуса матриці

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

На рис. 4 наведені показники міцності і пластичності деформованої сталі після наступного відпуску.

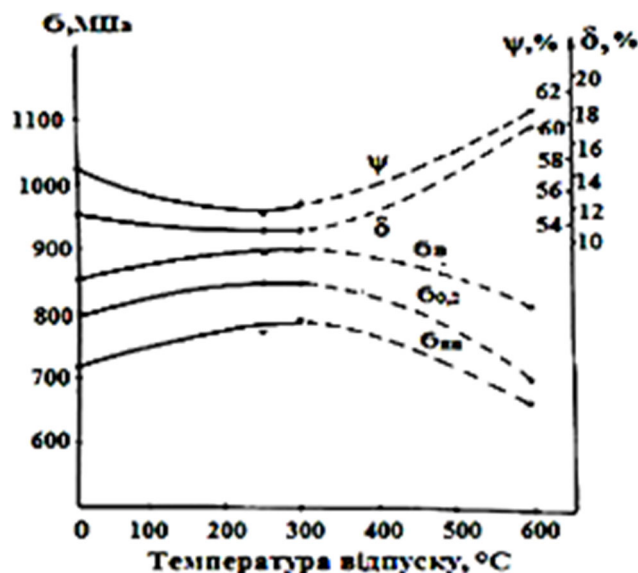


Рис. 4. – Механічні властивості сталі після ГДВ та наступного відпуску

Найкраще поєднання міцності і пластичності забезпечує відпуск в інтервалі 250 – 350 °C. При цьому фіксується і найвища ударна в'язкість – 0,7 МДж/м². Зміни властивостей екструдованої сталі при наступному відпуску обумовлені перебігом двох конкуруючих процесів: деформаційного старіння та повернення. Дослідження свідчать, що субструктура сталі, яка піддавалася відпуску в указаному інтервалі температур, характеризується витягнутими комірками, по границях яких розташовуються дисперсні карбіди (рис. 5).

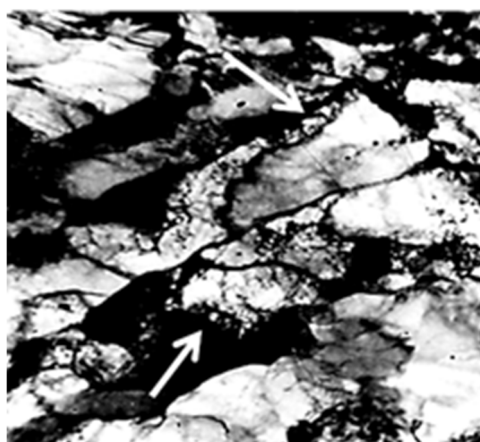


Рис. 5. – Субструктура сталі після гідродинамічного видавлювання та відпуску при 300 °C протягом 2 год, $\times 25000$



При підвищенні температури відпуску відбувається укрупнення комірок, звільнення внутрішніх об'ємів деяких з них від хаотично розташованих дислокацій, удосконалення субграниць, що зумовлено розвитком процесів повернення. Зниження твердості та міцності при відпуску вище 400 °С свідчить про те, що процеси повернення стають превалюючими. Враховуючи характер процесів, які відбуваються при відпуску гідроекструдованої сталі, очевидно, що відпуск при температурі 300 °С є найбільш ефективним, бо приводить до вдосконалення і закріплення субструктури, отриманої після холодної деформації способом ГДВ.

Висновки. Для зниження зусиль деформування та забезпечення рівномірності деформації міцної і малопластичної сталі 45ХН2МФА перед ГДВ видавлюванням необхідний попередній сфероїдизуючий відпал при температурі від 680 до 700 °С протягом 4 год. При деформації формується розвинена комірчаста субструктура, що забезпечує зміцнення сталі при збереженні досить високого запасу пластичності та ударної в'язкості. Післядеформаційний відпуск в інтервалі температур від 250 до 350 °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. Гідроекструзія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://1677.slovaronline.com/31672> (дата звернення: 6.04.2023).
2. Кондрашев П.В. Технологія конструкційних матеріалів Конспект лекцій/ П.В. Кондрашев, О.Т. Сердітов, Ю.В. Ключников, А.М. Лутай // НТУУ «КПІ», 2017. – 96 с.
3. Опальчук А.С. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник / Опальчук А.С., Афтандіянц 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 освітньо-науковою програмою «Обробка металів тиском» / О.В. Нікулін // – Кам'янське: ДДТУ, 2019. – 43 с.
5. Недибалюк А.Ф. Вплив гідропресування на структуру і непружні властивості сталі ШХ15 / А.Ф. Недибалюк // ВНТУ, 2019. – С. 23-28.