

ОСОБЛИВОСТІ НЕОДНОРІДНОСТІ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ГЕТЕРОФАЗНИХ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В СТАЛЯХ

Губенко С.І.^{1,2}, Парусов Е.В.¹, Парусов О.В.¹

¹Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (м. Дніпро, Україна),

²Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
(м. Дніпро, Україна)

Вступ. Неметалеві включення є концентраторами напружень і суттєво впливають на механічні, технологічні та експлуатаційні властивості сталей, сталевих виробів і конструкцій [1, 2]. В сталях, крім однофазних включень оксидів, нітридів, сульфідів, силікатів тощо завжди присутні гетерофазні включення [3–5], які мають складну структуру. Отже, необхідні дослідження поведінки таких включень за різних умов деформації під час оброблення сталей тиском, що має велике значення для забезпечення високого рівня їхньої технологічної пластичності.

Мета роботи – вивчення природи та рівня пластичності гетерофазних включень в сталях за умов гарячої та холодної деформації.

Матеріал і методики досліджень. Поведінку включень вивчали за умов розтягнення та прокатування сталей 08кп, 08Ю, 08Т, 45, R7 за температур 25–1100 °С. Параметри деформації включень визначали за методиками, що наведені в роботах [1, 5].

Результати досліджень. Гетерофазні включення в сталях поділяють на п'ять груп [3–5]: включення першого типу «тугоплавка фаза, оточена легкоплавкою оболонкою»; включення другого типу «фази поруч»; включення третього типу «евтектики»; включення четвертого типу «дисперсні фази в неметалевій матриці»; включення п'ятого типу «евтектика включення-матриця».

Гетерофазні включення представляють собою мікрокомпозитні формування. Більшість фаз таких включень (оксидні, боридні, гідридні, нітридні) є тугоплавкими, для яких характерною властивістю є крихкість як в низькотемпературній, так і в високотемпературній областях, яка обумовлена спрямованістю зв'язків фаз впровадження в решітці і високим значенням сил Пайерлса-Набарро для дислокацій. Більшість таких включень за температур гарячого оброблення тиском не виявляють помітної пластичності і руйнуються крихко, оскільки для них температура холодноламкості знаходиться вище температур гарячої деформації сталі [1, 2, 4]. У сульфідних фаз температури

плавлення нижче, ніж у тугоплавких фаз включень, а пластичність вище [1, 2, 4].

Пластична поведінка гетерофазних включень за умов обробки тиском (гарячого або холодного прокатування, волочіння тощо) залежить від рівня пластичності складових фаз та умов деформації (рисунок). Ускладненість розвитку пластичної деформації в тугоплавких фазах включень обумовлена декількома причинами: розташуванням атомів неметалу в проміжках між шарами атомів металу, що перешкоджає легкому ковзанню; схильністю атомів неметалу розташовуватися на дислокаціях та границях зерен і субзерен; відхиленнями від стехіометрії, що породжують різні спотворення в решітці; можливістю утворення спрямованого характеру міжатомних зв'язків [1, 5]. Слід зазначити, що деформація включень може характеризуватися різницею в'язкості між включенням та сталеву матрицею: більш низька в'язкість включень призводить до кращої їх деформації. Деформація включень зростає зі зменшенням модуля Юнга. Причиною різних показників пластичності фаз мультифазних неметалевих включень є явище їхнього переходу від пластичності до крихкості за умов зміни температури.

За наявності пластичних фаз у включеннях різного типу визначали вплив температури деформації розтягненням на помітну пластичність, коли відбувається множинне ковзання. Для всіх пластичних фаз чим вище температура, тим вище ступінь деформації (ϵ , %), за якого починалося множинне ковзання. Для гетерофазних включень усіх типів величина ϵ дещо менше, ніж у однофазних включень відповідного хімічного складу, що пов'язано з гальмуючим впливом другої фази [1, 5].

Навантаження гетерофазного матеріалу при обробленні тиском (сталь з гетерофазними включеннями) характеризується різко неоднорідним розподілом напружень та деформацій [1, 6]. В гетерофазних включеннях, у порівнянні з однофазними, неоднорідність деформації посилюється в зв'язку з наявністю фаз, що мають різний рівень пластичності, а також внутрішні міжфазні границі. При розгляді пластичної поведінки гетерофазних включень в пластичній сталевій матриці принципове значення мають міжфазні границі включення-матриця, а також внутрішні міжфазні границі у самих включеннях [1, 7]. За умов високотемпературної деформації відбувається просковзування уздовж границь включення-матриця і внутрішніх міжфазних границь у включеннях, що пов'язано з рухом міжфазних дислокацій [1, 5, 8, 9].

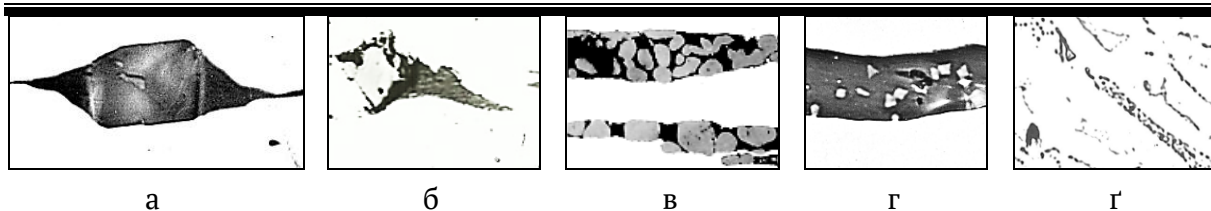


Рисунок 1 – Гетерофазні включення в сталях після оброблення тиском ($\times 900$)

Висновки. Кожен тип гетерофазних включень, які є мікрокомполітними формуваннями в сталях, характеризується своїми закономірностями розвитку деформаційних процесів, які визначаються їхнім хімічним та фазовим складом, структурою, деформаційною здатністю фаз включень. Процес деформації гетерофазних включень повинен проходити за умов довільної формозміни в будь-якому мікрооб'ємі включення за збереженням безперервності напружень або безперервності деформацій.

Література

1. Губенко С. И., Ошкадеров С. П. Неметаллические включения в стали : монография. Киев : Наукова думка, 2016. 528 с.
2. Губенко С. И. Физика разрушения сталей вблизи неметаллических включений : монография. Днепропетровск : НМетАУ, ИЦ Системные технологи, 2014. 301 с.
3. Губенко С. И. Структура многофазных неметаллических включений в сталях. Теория и практика металлургии. 1999. № 1. С. 22–27.
4. Gubenko S. I. Plasticity Origin of Heterophase Inclusions at Steel Forming. Steel in Translation. 2020. Vol. 50. № 10. pp. 730–739.
5. Губенко С. И. Гетерофазные микрокомполітні включення в сталях : монография. Germany-Mauritius, Beau Bassin : Palmarium academic publishing, 2019. 330 с.
6. Gubenko S. I. To the question of the structure of interphase boundaries non-metallic inclusion-matrix of steel. Metals. 1994. No. 6. pp.105-112.
7. Губенко С. И., Иськов М. В. Структура и сопротивление разрушению межфазных границ неметаллическое включение-матрица стали. Теория и практика металлургии. 2004. № 5. С.30–38.
8. Gubenko S. I. Local peaks of parameters and processes at interfaces of non-metallic inclusion-steel matrix. Steel. 1999. № 8. pp. 64–67.
9. Губенко С. И. Природа всплесков микронеоднородной деформации в стали с неметаллическими включениями. Физико-химическая механика материалов. 1999. № 2. С.53–59.

PECULIARITIES OF INHOMOGENEITY OF PLASTIC DEFORMATION OF THE HETEROPHASE NON-METALLIC INCLUSIONS IN STEELS

Svitlana Gubenko, Eduard Parusov, Oleh Parusov

Abstract. The nature and level of plasticity of microcomposite heterophase inclusions in steels under pressure treatment condition was investigated. Plastic phases in heterophase inclusions of various types under the conditions of hot and cold deformation of steels were investigated. It is shown that each type of inclusions, which are microcomposite formations in steels, is characterized by its own laws of the development of deformation processes, which are determined by their chemical and phase composition, structure, deformation capacity of inclusion phases. The generalized of the plastic behavior of heterophase inclusions of various types with a complex structure have been established and inhibitory effect of non-deformable inclusion phases on the behavior of plastic phases in a wide range of deformation temperatures of steels has been established. The peculiarities of the nature of plasticity of heterophase inclusions with different compositions and structures are discussed. The use of the obtained results will make it possible to develop technologies for obtaining steels with a regulated content and types of heterophase non-metallic inclusions, which will significantly increase their technological plasticity, as well as prevent the formation of various types of defects during pressure treatment of steels.

Keywords: steel, heterophase non-metallic inclusions, ductility, structure, pressure treatment, plastic deformation.

References

1. Gubenko S. I., Oshkaderov S. P. Nemetallicheskie vkluchenija v stali [Non-metallic inclusions in steel] : monograf. Kiev : Naukova dumka, 2016. 528 p.
2. Gubenko S. I. Fizika razrusheniya staley vblizi nemetallicheskih vklyucheniy. [Physics of steel fracture near non-metallic inclusions] : monograf. Dnepropetrovsk, NMetAU, Information Technology Systems Technologies, 2014. 301 p.
3. Gubenko S. I. Struktura mnogofaznykh nemetallicheskih vklyucheniy v stalyakh. [The structure of multiphase nonmetallic inclusions in steels]. Theory and practice of metallurgy. 1999. № 1. pp. 22–27.
4. Gubenko S. I. Plasticity Origin of Heterophase Inclusions at Steel Forming. Steel in Translation. 2020. Vol. 50. № 10. pp. 730–739.
5. Gubenko S. I. Geterofaznyke mikrokompozitnyye vklyucheniya v stalyakh. [Heterophase microcomposite inclusions in steels] : monograf. Germany-Mauritius, Beau Bassin : Palmarium academic publishing, 2019. 330 p.
6. Gubenko S. I. K voprosu o stroyenii mezhfaznykh granits nemetallicheskiye vklyucheniyematriitsa v stali [To the question of the structure of interphase boundaries

non-metallic inclusion-matrix in steel]. News of the USSR Academy of Sciences. Metals. 1994. № 6. pp. 105–112.

7. Gubenko S. I., Iskov M. V. K voprosu o stroyenii mezhfaznykh granits nemetallicheskiye vklyucheniye-matritsa v stali [On the question of the structure of interphase boundaries non-metallic inclusion-matrix in steel]. Theory and practice of metallurgy. 2004. № 5. pp. 30–38.

8. Gubenko S. I. Lokal'nyye piki parametrov i protsessov na granitsakh nemetallicheskiye vklyucheniye-matritsa stali [Local peaks of parameters and processes at the non-metallic inclusion-matrix boundaries of steel]. Steel. 1999. № 8. pp. 64–67.

9. Gubenko S. I. Priroda vpleskov mikroneodnorodnoy deformatsii v stali s nemetallicheskiye vklyucheniymi [The nature of bursts of micro-inhomogeneous deformation in steel with non-metallic inclusions]. Physical and chemical mechanics of materials. 1999. № 2. pp. 53–59.