

**Дубасов<sup>1</sup> В.М., Могильная<sup>2</sup> Е.П.**

<sup>1,2</sup> - Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,  
Луганск, Украина,

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ**

**Dubasov V.M., Mogilna O.P.**

### **THE INFLUENCE OF DEFORMATION TEMPERATURE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF DIE STEELS**

*Определены режимы полугорячего выдавливания сталей 5ХЗВЗМФС, 4Х5МФС, 7ХЗ, 45Х, обеспечивающие получение высокой прочности и пластичности. Показано, что это достигается деформированием в интервале температур фазовых превращений за счет сформированной в процессе деформации мелкозернистой перлитно-ферритной структуры, имеющей дисперсные равномерно распределенные, сфероидизированные и ориентированно расположенные карбидные частицы в перлите и тонкую субзернистую структуру в феррите. Структура устойчива, она наследуется при нагреве под термическую обработку и оказывает положительное влияние на свойства термообработанной стали.*

**Ключевые слова:** выдавливание, фазовые превращения, структура, свойства, нагрев, перлит, сталь.

#### **Введение**

Экономия материала и снижение энергетических затрат в технологических процессах объемного деформирования относятся к актуальным задачам современного штамповочного производства. Одним из путей решения этих задач является применение малоотходного и малоэнергоёмкого процесса полугорячего выдавливания.

Технологические процессы выдавливания полугорячего выдавливания сталей, осуществленные при температурах 600...800°С, имеют преимущества по сравнению с холодной и горячей обработкой. Нагрев сталей до сравнительно невысоких температур не вызывает значительного окисления поверхности металла, повышает пластичность и снижает удельные усилия деформирования в 1,5...2 раза и более по сравнению с холодным выдавливанием [1], что дает возможность обрабатывать высокопрочные легированные стали и получать точные заготовки, не требующие механической обработки. Особенностью процесса является наличие определенного эффекта упрочнения металла при совместном воздействии пластической деформации и температуры [1]. Вызываемые наклепом изменения строе-

ния стали обычно устойчивые и сохраняются после двойной фазовой перекристаллизации  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ , поэтому предварительная пластическая деформация может играть существенную роль в формировании структуры аустенита при последующей термической обработке. На получение свойств оказывает влияние наследственная передача дефектов строения: плотность несовершенств, фрагментация структуры, а также измельчение аустенитного зерна [2].

### **Цель**

Целью работы является более глубокое изучение протекающих при деформации и охлаждении процессов деформирования и изменения структуры металла, а также причин, вызывающих аномальное изменение механических свойств сталей после полугорячего выдавливания.

### **Методика исследования**

Выдавливание осуществляли на гидравлическом прессе при скорости рабочего хода 15 мм/с. Образцы с диаметром стержня 25,3 мм получали прямым выдавливанием заготовок диаметром 40 мм, что соответствовало степени деформации 40%. Из таких заготовок изготавливали стандартные образцы для испытаний на растяжение с диаметром рабочей части 5 мм.

Исследуемые режимы в интервале температур 600...800°C разбиты на три группы.

- 1) пластическая деформация при температурах ниже критической точки  $A_{c1}$ ;
- 2) пластическая деформация с протеканием фазовых превращений в интервале температур  $A_{c1}$ - $A_{c3}$ ;
- 3) пластическая деформация при температурах выше критической точки  $A_{c3}$ .

### **Результаты исследований**

Схемы последних двух режимов можно отнести к вариантам термо-механической обработки с распадом деформированного аустенита по перлитному механизму.

Температура деформации при втором режиме принималась на 10...30°C выше критической точки  $A_{c1}$ . При этих температурах структура стали аустенитно-ферритная. Нагрев до температуры 800°C обеспечивал получение однородной аустенитной структуры во всех сталях, кроме 4X5МФС, так как критические точки  $A_{c1}$ , для сталей 5X3В3МФС, 4X5МФС, 7X3, 45X соответствуют температурам 790, 840, 770, 735°C.

Микроструктуру образцов исследовали при помощи светового микроскопа. Для травления применялся 4% раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Выполненные микроструктурные исследования показали, что чем

больше легирована сталь, тем более значительные изменения наблюдаются в структуре при деформации в аустенитно-ферритном состоянии. Так, микроструктура стали 4Х5МФС после деформации при температуре 600°С, имеет строчечную ферритно-перлитную структуру с величиной зерна 6-7 баллов. В процессе деформации, сопровождающейся фазовой перекристаллизацией  $\alpha \rightarrow \gamma$ , происходит измельчение зерна до 12-го балла и сфероидизация частиц цементита. Еще более значительные изменения после деформации при 800°С наблюдаются в структуре стали 5Х3В3МФС в сравнении с деформацией при 600°С структура становится почти перлитная с небольшими вытянутыми участками феррита, который остается не превращенным при температуре нагрева. Увеличение количества перлита свидетельствует о возрастании скорости превращения деформированного аустенита в перлит. Это хорошо согласуется с данными работы [3], в которой показано, что в сталях подобного класса 35ХН5С деформация аустенита при температуре 800°С сокращает период распада аустенита в 1,5, а при 600°С - в 2 раза. В связи с увеличением скорости превращения выделяется меньше избыточного феррита, и поэтому количество перлита значительно возрастает (рис. 1).

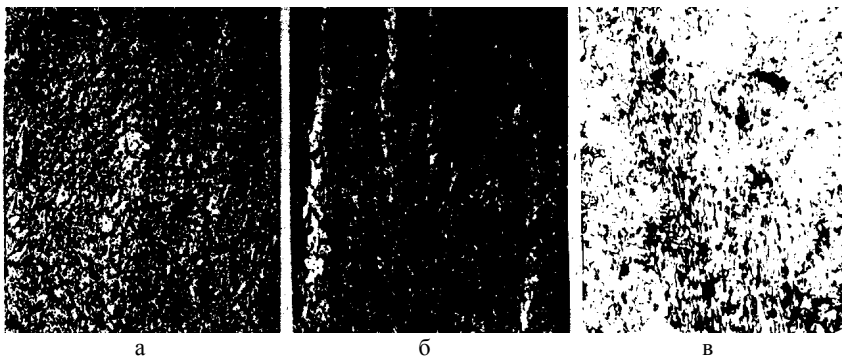


Рис. 1. Микроструктура стали 5Х3В3МФС после полугорячей деформации ( $\epsilon=40\%$ ) а - температура 600°С; б, в температура 700°С; увеличение  $\times 340$  (а, б); (в)  $\times 1000$

При изучении строения перлита установлено, что в результате проведенной обработки при 800°С в перлите наблюдается направленность цементитных пластин, повышение дисперсности и сфероидизации их, большая часть которых разворачивается в направлении наибольшего течения металла. Образование ориентированного перлита, по-видимому, можно объяснить и тем, что при нагреве до температуры намного выше  $A_{c1}$  сохраняется сильная неоднородность аустенита по углероду. В связи с этим после деформации и охлаждения наблюдается избирательное выстраивание карбидных пластин [7].

Из данных изменения механических свойств сталей в зависимости от температуры выдавливания (рис. 2), с повышением температуры до 700°C, а для стали 4Х5МФС и до 800°C в исследуемых сталях наблюдается понижение прочности и повышение пластичности за счет протекающих процессов возврата и рекристаллизации.

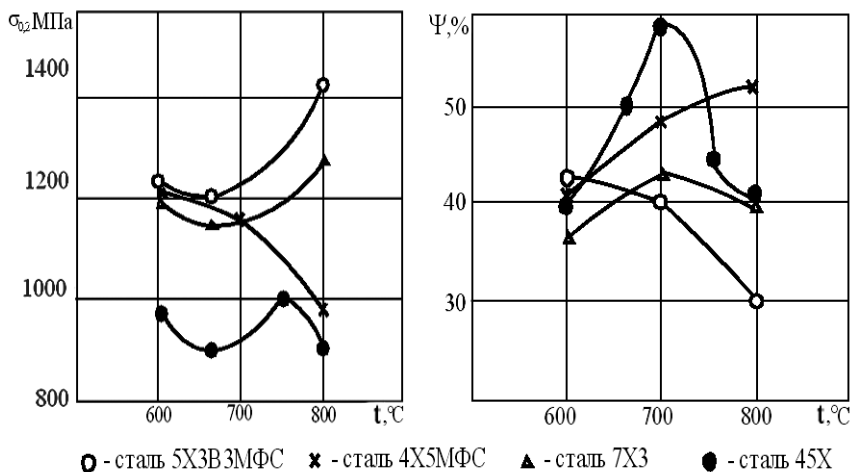


Рис. 2. Зависимость механических свойств образцов после выдавливания со степень деформации 40 % от температуры

При температуре выдавливания 600°C уровень прочностных свойств довольно высок при достаточной пластичности. Вероятно, при этой температуре выдавливания преобладающее влияние на уровень прочностных свойств оказывают процессы, которые задерживают разрушение металла. Подобную картину упрочнения металла наблюдали в работе [4] при тепловой прокатке стали 60X3Г8Н8В, авторы которой считают, что повышение прочности указанной стали в диапазоне температур 300...500°C вызвано полигонизацией. На возможность полигонизации непосредственно в ходе пластической деформации в указанном интервале температур отмечалось и в работе [5].

Из рассмотрения зависимости свойств сталей от температуры (рис. 2) видно, что появляются пороговые температуры, по достижении которых резко изменяются механические свойства. Проведение выдавливания в аустенитно-ферритном состоянии (стали 5X3B3MFC и 7X3 при 800°C, стали 45X при 750°C) приводит к скачкообразному увеличению  $\sigma_{0.2}$  сталей 5X3B3MFC и 7X3 на 180 и 110 МПа по сравнению с выдавливанием при 600°C, причем пластичность здесь незначительно снижается и остается на достаточно высоком уровне ( $\psi = 30...40\%$ ). Кроме того, значение

прочностных свойств стали 5Х3В3МФС после выдавливания при температуре 800°С  $\sigma_{0,2} = 1420$  МПа получается почти такой же как его величина после стандартной термической обработки (закалка и отпуск при 670°С)  $\sigma_{0,2} = 1400...1500$  МПа. Для стали 4Х5МФС повышение прочностных свойств не наблюдается, вероятно, в связи с тем, что температура фазовых превращений  $A_{c1}$  для этой стали 840°С.

Необходимо отметить одну особенность изменения относительного сужения после выдавливания стали 5Х3В3МФС (см. рис.2, б). При температуре деформации 800°С, несмотря на повышение характеристик прочностных свойств, относительное сужение изменяется незначительно. Это является свидетельством рационального формирования структуры и субструктуры металла при деформации в области фазовых превращений, которая позволяет, наряду с высокими прочностными свойствами, сохранять высокую пластичность.

Как следует из данных работы [1] ход кривых  $\sigma_{0,2} = f(t)$  не согласуется с температурной зависимостью удельных усилий выдавливания. При повышении температуры от 400 до 800°С наблюдается монотонное снижение сопротивления деформированию сталей 12Х2Н4А и 20ХНЗА, а после охлаждения прочностные свойства этих сталей, выдавленных при температурах 700...720°С, находятся на уровне свойств после выдавливания при 400°С. Это свидетельствует о том, что основные процессы упрочнения протекают не в период пластической деформации, а при охлаждении образцов. Наличие высоких степеней деформации и уровень гидростатического давления при выдавливании дают основание полагать, что в данном случае основа для получения повышенных прочностных характеристик закладывается в процессе пластического деформирования стали в области температур фазовых превращений за счет деформирования субструктуры с повышенным содержанием дефектов. Вероятно, здесь действует механизм упрочнения, как при термомеханической обработке с деформацией во время перлитного превращения (ТМИЗО). По сравнению со сталью с ферритно-перлитной структурой, полученной после обычной горячей обработки давлением, сталь после ТМИЗО обладает более высоким пределом текучести и повышенной пластичностью. Согласно [в], такая обработка приводит к формированию тонкой субзеренной структуры в феррите и замене карбидных пластин в перлите на дисперсные сферические равномерно распределенные частицы. Субзеренная структура феррита формируется в результате полигонизации во время пластической деформации и в паузах между обжатиями. Дисперсные сферические частицы карбида могут зарождаться на дислокациях в аустените, а могут также появляться в результате фрагментации карбидных пластин и их сфероидизации, ускоренной деформацией. Существует оптимальная температура пластической деформации, выше которой субзерна и карбидные частицы получают крупнее, а ниже - не успевают сформироваться совершенные

субзеренные границы.

Подобный механизм упрочнения сталей имеет место при контролируемой прокатке [6]. Основная идея этой обработки заключается в том, что подбираются такие режимы деформации и охлаждения после нее, которые определяют получение мелкого однородного зерна и создание субструктуры во время и, главным образом, после горячей обработки. При этом оптимальный комплекс механических свойств получается в случае, когда феррит имеет фрагментированное полигональное строение, что достигается при температурах окончания прокатки ниже точки  $A_3$  [7]. Поскольку структура металла поковки после полугорячей штамповки в большинстве своем формируется в процессе охлаждения, то, по видимому, скорость охлаждения будет влиять на окончательные свойства.

### **Выводы**

После полугорячей деформации штамповых сталей в аустенитно-ферритном состоянии при оптимальной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью может быть получен комплекс механических свойств, отличающихся высокой прочностью и пластичностью. Это достигается за счет сформированной в процессе деформации и охлаждения мелкозернистой перлитно-ферритной структуры, имеющей тонкую субзеренную структуру в феррите и дисперсные, равномерно расположенные, сфероидизированные и ориентировано расположенные карбидные частицы в перлите. Структурные изменения повышают прочностные свойства тем более значительно, чем больше легирована сталь.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дорошко В.И. Исследование влияния полугорячей пластической деформации на структуру и свойства легированных сталей / В.И. Дорошко, Л.И. Карташова, В.М. Дубасов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Луганськ, Вид-во СУДУ. – 1997. – С. 28–32.
2. Дорошко В.И. Эффект наследования в деформированной стали 20Х / В.И. Дорошко, Л.И. Карташова, А.А. Андриюк и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1979. – №4. – С. 17–18.
3. Соколов К.Н. Влияние пластической деформации на кинематику изотермического превращения аустенита / К.Н. Соколов, Р.И. Энтин, В.М. Хлестов и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1973. – №1. – С. 11–13.
4. Богачева Г.Н. Упрочнение стали 60Х3Г8Н8В при теплой прокатке / Г.Н. Богачева, К.А. Мальшев, В.Д. Садовский и др. // Упрочнение сталей. Свердловск, 1960. – С. 112–116.
5. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов/С.С. Горелик. - М.: Металлургия, 1978. – 577 с.
6. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов / М.Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1977. – 431 с.

7. Новик И.И. Теория термической обработки металлов / И.И.Новик. – М.: Металлургия, 1972. – 392 с.

## REFERENCES

1. Doroshko V.I., Kartashova, L.I., Dubasov, V.M., 1997. Issledovanie vlijanija polugorjachej plasticheskoj deformacii na strukturu i svojstva legirovannyh stalej [Investigation of the influence of semihot plastic deformation on the structure and properties of alloyed steels], Resursozberigajuchi tehnologii virobnictva ta obrobki tiskom materialiv u mashinobuduvanni [Resource Saving Technologies for Production and Pressure Shaping of Materials in Machine-Building], Lugansk, SUDU, pp. 28-32. (in Russian)
2. Doroshko, V.I., Kartashova, L.I., Andrijushhuk, A.A. et al., 1979. Effekt nasledovaniya v deformirovannoj stali 20N [The inheritance effect in the deformed steel 20N], Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov, Issue 4, pp. 17-18. (in Russian)
3. Sokolov, K.N., Jentin, R.I., Hlestov, V.M., et al, 1973. Vlijanie plasticheskoj deformacii na kinematiku izotermitičeskogo prevrashhenija austenita, Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov, Issue 1, pp. 11-13. (in Russian)
4. Bogacheva, G.N. Malyshev, K.A., Sadovskij, V.D. et al, 1960. Uprochnenie stali 60H3G8N8V pri teploj prokatke [Hardening of steel 60H3G8N8V during warm rolling], Uprochnenie stalej, Sverdlovsk, pp. 112-116. (in Russian)
5. Gorelik, S.S. Rekristallizacija metallov i splavov [Recrystallization of metals and alloys], Moscow, Metallurgija, 1978, 577 p. (in Russian)
6. Bernshtejn, M.L., 1977. Struktura deformirovannyh metallov [Structure of deformed metal], Moscow, Metallurgija, 431 p. (in Russian)
7. Novik, I.I., 1972. Teorija termicheskaj obrabotki metallov [The theory of heat treatment of metals], Moscow, Metallurgija, 392 p. (in Russian)

***Дубасов В.М., Могильна О.П. Вплив температури деформації на структуру і властивості штампових сталей.***

*Визначені режими напівгарячого видавлювання сталей 5ХЗВЗМФС, 4Х5МФС, 7ХЗ та 45Х, що забезпечують одержання високої міцності і пластичності. Показано, що це досягається деформацією в інтервалі температур фазових перетворень за рахунок сформованої в процесі деформації дрібнозернистої перлітно-феритної структури, що має дисперсні рівномірно розподілені, сфероїдизовані і орієнтовано розташовані карбідні частки в перліті і тонку субзеренну структуру у фериті. Структура стійка, вона успадковна при нагріві під термічну обробку і становить позитивний вплив на властивості термообробленої сталі.*

***Ключові слова:*** видавлювання, фазові перетворення, структура, властивості, нагрів, перліт, сталь.

***Dubasov V.M., Mogilnaya O.P. The influence of deformation temperature on the structure and properties of die steels.***

*The purpose of this work is deep study of processes that are taking place during the deformation and cooling, deformation and structure changes of metal and, also, the reasons of anomalous changing of mechanical properties of die steels after demihot deforma-*

tion.

Direct extrusion was carried out on a hydraulic hammer at working stroke speed of 15 mm/s. The samples with the diameter of bar 25.3 mm have been extruded from billets of 40 mm in diameter corresponding to the degree of deformation of 40%. The standard samples for tensile test with the diameter of working part 5 mm were produced from these billets.

The structure of alloyed steels after thermo-mechanical treatment in the austenitic-ferritic state at optimal temperature and subsequent cooling with certain speed ensures formation of the complex of mechanical properties characterized with high durability and plasticity. It has established that structure formed in the process of deformation and cooling of fine-grained pearlitic-ferritic structure is characterized by thin subgrain structure into a ferrite and dispersible, equispaced, spheroidized and located carbide particles that are oriented in the pearlite.

The modes of hot deformation of stripe made of stamp steels that ensure high durability and plasticity have been developed

**Keywords:** extrusion, phase transformations, structure, properties, heating, pearlite, steel.