



Steel forming technology in conditions of warm forming is a process, which is very attractive for technological practice in term of lower energy consumption, higher quality of the surface and dimensional precision of forged pieces. Interval of recommended forming temperatures of steel in conditions of warm forming is narrow, therefore for successful development of this technology it is important to obtain more information about mechanical properties of materials, especially of plastic ones, at warm forming temperature. The plastic characteristic of 18ChG steel and influence of heat treatment on its formability are studied in this article. The importance of selection of forging temperature and material flow simulation in die cavity for economic production of rings shaped forged by warm forming is shown.

М. КАПУСТОВА, В. ТИТТЕЛ, Словацкий технический университет

УДК 669.131.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ СТАЛИ ТИПА 18ХГ ПРИ НЕПОЛНОЙ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Неполная горячая деформация при обработке металлов давлением представляет собой компромисс между холодной и горячей технологиями [1]. Обычно такой вид обработки осуществляется при температурах более высоких, чем температура возврата, но более низких, чем нижний температурный предел обработки давлением. Как следствие, уровень технологической пластичности материала выше по сравнению с холодной деформацией. Кроме того, по сравнению с горячей неполная деформация обеспечивает более высокую точность изготовления и экономию металла за счет меньшей степени окисляции рабочей поверхности заготовки до области хрупкого состояния материала.

Для неполной горячей деформации характерным является замедление процессов рекристаллизации и повышение сопротивления пластической деформации по мере увеличения деформирующего усилия в полости штампа. Неполная горячая деформация может быть использована для обработки почти всех видов конструкционных сталей, однако для этого должны быть выполнены некоторые условия. Прежде всего должна быть выбрана оптимальная схема технологического процесса деформирования, обеспечивающая необходи-

мое напряженное состояние, как правило, с преобладанием сжимающих напряжений. Процессы деформирования, при которых преобладают растягивающие напряжения, менее выгодны, поскольку при одной и той же степени пластической деформации достигается сильнейший наклеп материала, что вызывает снижение его пластичности. Правильный выбор температуры деформирования, ее стабилизация и контроль также очень важные факторы. Но не менее важным является правильный выбор режимов предварительной термической обработки исходного материала. При этом следует помнить, что более подходящими материалами для данной технологии являются стали с мелкозернистой структурой и высокой степенью чистоты [2]. С учетом этого в настоящей работе рассмотрены особенности структуры и свойств стали STN 14 220 (эквивалент стали 18ХГ по ГОСТ 4543-71) [3].

Общая характеристика исследуемой стали. Хромомарганцевая сталь типа 19ХГ является широко распространенным материалом для горячего деформирования и относится к классу цементуемых сталей. Химический состав стали приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав стали типа 18ХГ

Содержание элементов, %	C	Mn	Si	Cr	P	S
Минимум	0,14	1,1	0,17	0,8	≤0,035	≤0,035
Максимум	0,19	1,4	0,37	1,1		

Данная конструкционная сталь отличается хорошей технологической пластичностью при горячем деформировании, а после смягчающего отжига и при холодном. Используется для изго-

товления науглероживаемых конструкционных элементов с очень твердым поверхностным слоем и сильно упрочняемой после закалки сердцевиной. Из этой стали методом горячей объемной штам-

повки обычно изготавливают различного рода шестерни, звездочки, карданные крестовины и другие изделия, используемые прежде всего в автомобильной промышленности [3]. Экспериментальные образцы изготавливали из горячекатаных прутков круглого сечения диаметром 30 мм, которые находились в состоянии поставки без термической обработки. Структура стали в состоянии поставки показана на рис. 1.

Определение механических свойств стали при повышенной температуре. Определение механических характеристик при растяжении проводили при повышенных температурах (550, 600, 650, 700, 750 и 800 °С), т.е. при температурах, которые характерны для неполного горячего деформирования конструкционных сталей [4]. При каждой температуре было использовано по три образца. После статического растяжения, извлечения и охлаждения образцов проводили необходимые замеры, на основании которых рассчитывали показатели основных механических свойств, средние величины которых приведены в табл. 2 [4].

Из таблицы видно, что по мере повышения температуры прочностные характеристики (временное сопротивление разрыву σ_b и предел текучести $\sigma_{0,2}$) непрерывно снижаются. В то же время изменение относительного удлинения и сужения,

Таблица 2. Механические свойства стали типа 18ХГ в зависимости от температуры

Температура, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	Ψ , %
550	181	228	29,5	74,9
600	147	163	40,0	65,2
650	111	118	48,9	64,4
700	70,3	75,8	37,5	79,5
750	47,4	53,3	52,0	62,1
800	41,4	49,9	73,5	53,2

Для относительного сужения, наоборот, понижение до температуры 650 °С, повышение в интервале 650–700 °С и снова понижение после 700 °С. В связи с этим необходимо определить, какая из характеристик пластичности оказывает превалирующее влияние на деформируемость (технологическую пластичность) стали. С учетом экспериментальных данных, приведенных в работе [5], главным показателем, определяющим технологическую пластичность стали типа 18ХГ, было выбрано относительное сужение, максимальное значение которого достигается при температуре 700 °С. Именно эта температура может быть рекомендована для неполного горячего деформирования стали типа 18ХГ в качестве оптимальной.

О дополнительных возможностях улучшения технологической пластичности стали при выбранной температуре деформирования. Одним из возможных путей улучшения технологической пластичности материала является предварительная термическая обработка заготовок. С учетом этого при выполнении настоящей работы экспериментальные образцы были подвергнуты нормализацион-

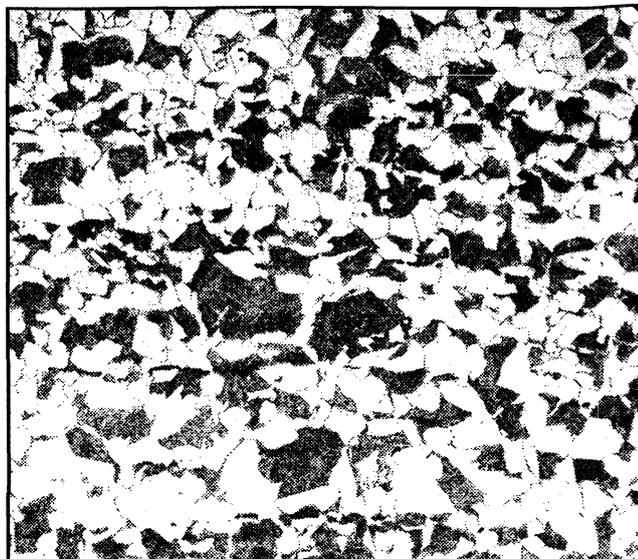


Рис. 1. Структура стали типа 18ХГ в состоянии поставки. х250

по которым можно судить о пластичности стали при повышенных температурах, носит практически диаметрально противоположный характер (табл. 2). Причем наблюдаются три температурных интервала изменения этих показателей. Для относительного удлинения: повышение до температуры 650 °С, понижение в интервале 650–700 °С и снова повышение после 700 °С.

ному отжигу перед растяжением с целью измельчения структуры стали и выравнивания (стабилизации) механических свойств. Структура стали после нормализации приведена на рис. 2.

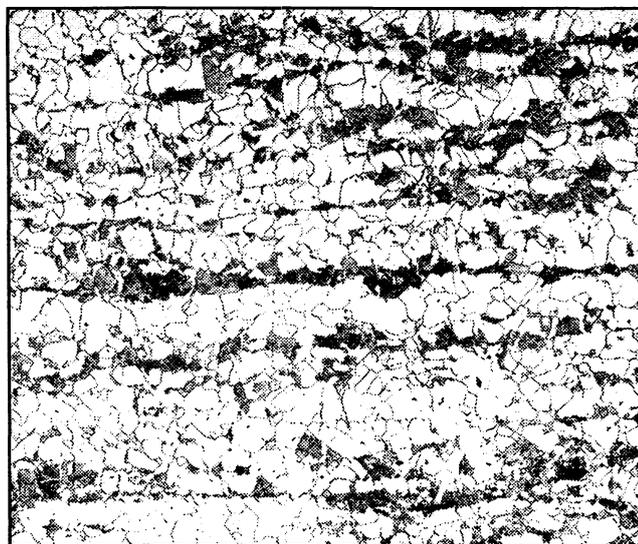


Рис. 2. Структура стали типа 18ХГ после нормализации. х250

Использование нормализационного отжига позволило за счет измельчения исходной структуры (рис. 2) значительно повысить уро-

вень характеристик пластичности (δ и Ψ) и показателей деформируемости (D_{sm} , λ_R) стали (табл. 3).

Таблица 3. Показатели характеристик пластичности и деформируемости стали типа 18ХГ при температуре 700 °С

Состояние	Температура, °С	δ , %	Ψ , %	λ_R	D_{sm}
Исходное	700	37,5	79,5	2,7	3,8
После нормализации	700	47,3	85,6	3,3	5,9

Примечание: λ_R – показатель пластичности до разрушения по Колмогорову ($\lambda_R = 2\sqrt{3} \ln \frac{d_i}{d_R}$, где d_o – начальный диаметр разрывного образца; d_R – диаметр шейки образца после растяжения); D_{sm} – показатель деформируемости по Пауру ($D_{sm} = \frac{1}{1-\Psi} - 1$, где Ψ – относительное сужение).

Моделирование течения стали типа 18ХГ в полости штампа при температуре неполного горячего деформирования. Температура 700 °С была рекомендована как оптимальная верхняя температура неполного горячего деформирования для стали типа 18ХГ при объемной штамповке заготовки типа кольца. С целью подтверждения правильности выбора данной температуры было осуществлено компьютерное моделирование течения материала заготовки в рабочей полости штампа при 700 °С.

Для моделирования течения материала в закрытой полости штампа (рис. 3) была использована компьютерная программа ANTARES [6, 7]. Моделирование показало, что течение материала заготовки типа кольца в полости штампа при температуре 700 °С происходит без образования складок и возникновения каких-либо иных дефектов, что подтверждает правильность выбора данной температуры в качестве оптимальной при неполном горячем деформировании заготовок из стали типа 18ХГ.

Технологический процесс объемной штамповки заготовок кольца из стали типа 18ХГ при неполной горячей деформации был реализован в промышленных условиях с использованием трехоперационного штамповочного горизонтального пресса типа НКС с получением значительного экономического эффекта за счет экономии материала и сокращения расхода электрической энергии.

В промышленности до настоящего времени недостаточно надежной информации о технологической пластичности некоторых конструкционных сталей при температурах, характерных для области неполного горячего деформирования данных сталей. Поэтому большую практическую значимость имеют работы, направленные на создание банка данных показателей механических характеристик в зависимости от температуры. Однако успешность и эффективность развития процессов неполного горячего деформирования, так же как и других технологий обработки металлов давлением,

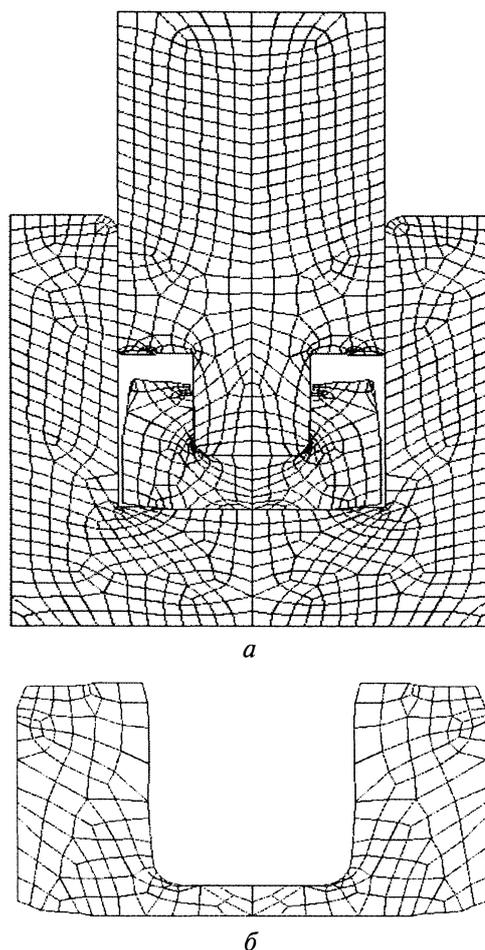


Рис. 3. Моделирование течения материала в полости штампа при объемной штамповке заготовки: а – в процессе деформирования; б – готовый профиль штампованной детали

зависит не только от исследований самой технологической пластичности материала, но и от возможности быстрого моделирования процессов течения конструкционного материала в зависимости от конкретных температурных условий с целью подтверждения правильности выбора материала и конкретных технологических параметров процесса деформирования, как показано на рис. 4.



Рис. 4. Схема организации технологического процесса неполного горячего деформирования

Литература

1. Novotný K. Tváření za poloohřevu. In Strojírenská výroba 7–8. 1993, S. 20–23.
2. Elfmark J. a kol. Tváření kovů. Praha: SNTL, 1992.
3. Гелин Ф.Д., Чаус А.С. Металлические материалы. Минск: Дизайн ПРО, 1999.
4. STN EN 1002-5. Kovové materiály. Skúška tahom. Časť 5. Skúška ťahom pri zvýšenej teplote. Bratislava: SUTN, 1998.
5. Drastík F., Elfmark J. Plastometry a tvařitelnost kovů. Praha: SNTL, 1977.
6. Bača J., Sobota R., Ulík A. Matematické vyjadrenie tvaru súdka po ubíjaní za tepla. In 4. Kovárska konferencie. Sborník prednášok. Brno: SKČR. S. 144–147.
7. Ulík A. Využitie parametrov tváriteľnosti kovov pre simuláciu procesov objemového tvárnenia. In FORMING. 2001, Vysoké Tatry – Stará Lesná: MIF STU. S. 233–238.