

шивке в два прохода меньше, чем в один проход, что способствует улучшению качества гильз по состоянию наружной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романцев Б.А., Потапов И.Н., Гончарук А.В., Попов В.А. Изготовление полых профилированных заготовок – М.: НПО «ИнформТЭИ», 1992. – 263 с.

2. Тетерин П.К. Теория поперечной и винтовой прокатки – М.: Металлургия, 1983. – 267 с.
3. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.М., Самусев С.В. Обработка металлов давлением – М.: Издательский Дом «МИСиС», 2008. – 968 с.

© 2012 г. Б.А. Романцев, А.В. Гончарук,
А.С. Алещенко, М.В. Красильщиков
Поступила 25 июня 2012 г.

УДК 539.37

В.М. Лялин

Тульский государственный университет

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЖИМА ПОЛУГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ЗАГОТОВОК СОРТОВОГО ПРОКАТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Потребность специального машиностроения в высокоэффективных технологиях изготовления деталей ответственного назначения обусловлена необходимостью их получения с требуемыми качественными характеристиками (геометрическая форма, размеры, механические свойства, отсутствие внутренней и приповерхностной повреждаемости) и использованием относительно дешевого отечественного сортового проката, малоотходного производства с минимальным числом технологических операций.

В настоящее время высокая эффективность процессов холодной и полугорячей штамповки выдавливанием, как ключевых операций формоизменения прутковых заготовок, достаточно обоснована, и они широко применяются в сельхозмашиностроении, в автомобильном, тракторном производстве и других отраслях. Однако одним из существенных недостатков применения холодного выдавливания в технологиях производства

деталей ответственного назначения, работающих под воздействием высоких давлений, динамических ударных нагрузок, агрессивных сред и т. п. является сложность обеспечения высококачественных характеристик этих деталей (особенно исключение повреждаемости, внутренних и поверхностных дефектов), что приводит к необходимости введения дополнительных операций шлифовки исходных заготовок.

Скрытые дефекты металлопроката являются следствием технологии изготовления и одним из основных ограничений при разработке высокоэффективных технологий. В табл. 1 приведены основные группы и классы точности сортового проката и возможные дефекты поверхности и приповерхностных слоев. Наиболее опасными дефектами являются волосовины. Опасность заключается в сложности их обнаружения при внешнем осмотре, значительной протяженности и глубине залегания, а также неэффективности традиционных способов холодного пластического

Таблица 1

Фрагмент ГОСТ1051-73. Прокат калиброванный. Общие технические условия

Группа качества	Класс точности	Квалитет	Описание дефекта	Глубина залегания дефекта
А	3	h9	Риски механического происхождения, пузырчатость	Половина предельного отклонения
	3a	h10		
Б	3a	h10	То же	Предельное отклонение
	4	h11		
		h12		
В	3a	h10	Риски, задиры, вмятины механического происхождения, пузырчатость, отслоения	Предельное отклонение
	4	h11		
	5	h12	То же, волосовины	h12 – риски, царапины h11 – волосовины

формоизменения (выдавливания, вытяжки) для их залечивания. Например, для применяемых в перспективных технологиях [1] прутков диаметром от 11 до 50 мм группы Б, класса точности 4 (h11) наличие волосовин недопустимо, а глубина залегания дефектов механического происхождения составляет 1 % диаметра заготовки и около 40 % толщины стенки готового изделия.

Результаты экспериментально-теоретических работ [2] свидетельствуют о том, что при пластическом деформировании одновременно с возникновением и развитием микродефектов происходит процесс их «залечивания». Соприкосновение поверхностей трещин (дефекта) в условиях высокого гидростатического сжатия и их относительного перемещения, высокая температура и знакопеременный характер развития деформации вызывает их интенсивное залечивание (сварку).

Известно, что процесс образования соединений в твердой фазе при пластической деформации состоит из трех этапов [3].

1. Физический контакт при нагружении в зоне соединения, характеризующийся сближением поверхностей на расстоянии, при котором между ними начинаются обменные процессы электронного взаимодействия. Деформирование микронеровностей при этом произойдет при напряжении сдавливания

$$\sigma_i = 3\sigma_T, \quad (1)$$

где σ_T – предел текучести металла при температуре деформирования.

2. Активация контактных центров, т.е. образование активных центров с установлением прочных химических связей происходит за счет роста интенсивности деформации, выхода дислокаций на поверхность контактных поверхностей, роста гидростатического давления и температуры.

Для пластического материала приращение энергии изменения формы запишется в виде

$$\partial B_{ij} = \sigma_{ij} \partial \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

где σ_{ij} и ε_{ij} – компоненты тензора напряжений и приращений натуральных логарифмических деформаций.

Мерой энергии массы движущихся частиц является температура. При повышении абсолютной температуры до значения $T > 0,4T_{пл}$, К начинается процесс рекристаллизации – возникновение новых центров зерен и их рост. Эквивалентную данной температуре энергию активации необходимо сообщить сдавливаемому металлу на границе контакта поверхностей.

3. Слияние очагов взаимодействия, релаксация напряжений и образование прочной металлической связи.

Поскольку третий этап идет непосредственно за вторым, то энергия, эквивалентная температуре фазовых превращений, является нижней границей третьего этапа. Отмечается, что в холодном металле атом находится

в состоянии «оседлой» жизни. Если же сообщить ему импульс энергии, характерный для плавления кристалла, то атом способен мгновенно совершить прыжок в соседнюю вакансию, проделав тем самым путь, равный параметру решетки. При этом энергия может быть тепловой, электрической или механической. Каждое движение атома – это одновременно и движение связанных с ним электронов.

Поверхность, которую механически деформируют, выбрасывает свободные электроны. Убыль свободных электронов в кристалле снижает отрицательный потенциал внутри кристалла. Положительно заряженные частицы внутри решетки начинают взаимно отталкивать и выталкивать друг друга из кристаллов, что может вызвать его взрыв. Атомные осколки разрушенных кристаллов мгновенно, вслед за разрушением, строят новые, обычно дефектные кристаллы. Это происходит на поверхности контакта и иногда в объеме только нескольких кристаллических слоев, что совсем не мешает называть это мелко дефектное строительство свариванием–залечиванием. Какой бы не возник атомно-электронный беспорядок по плоскостям контакта, он обязательно превращается после прохождения электрического минимума в металлическую связь, не только не уступающую связи межатомной, но по прочности даже превосходящую ее. Определить силовые и деформационные параметры, необходимые для полного прохождения третьей стадии, позволяют физические характеристики металла. При этом важную роль в процессе образования сварного соединения играет энергия активации, которая согласно работе [3] определяется зависимостью:

$$A = K\gamma \cdot 10^{-3} \int_{T_1}^{T_2} c_v dT, \quad (3)$$

где A – удельная работа активации, Дж/мм³. Эта работа численно равна тепловыделению, приводящему металл в расплавленное состояние; $K\gamma$ – коэффициент перевода термических единиц в механические, $K = 4,1868$ Дж/кал; γ – плотность металла, г/см³; T_1 – температура деформирования, °С; T_2 – температура ликвидуса, °С (для стали 18ЮА $T_2 = 1530$ °С); c_v – теплоемкость, кал/(г·°С).

Удельная (средняя) теплоемкость стали 18ЮА в зависимости от температуры представлена в табл. 2.

Таблица 2

Удельная теплоемкость стали 18ЮА в зависимости от температуры

Температура, T , °С	100	200	400	600	800	1000	1200
Удельная теплоемкость, c_v , кал/(г·°С)	0,112	0,115	0,128	0,136	0,164	0,167	0,167

Данные по теплоемкости, представленные в табл. 2, описываются функциональной зависимостью:

$$C_v(T) = a_1 + a_2T + a_3T^2 + \dots + a_nT^{n-1}, \quad (4)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – коэффициенты полинома, n – показатель полинома.

Ограничившись температурным интервалом $T = 100 - 1000$ °С, а также показателем полинома $n = 5$, были подсчитаны коэффициенты аппроксимирующей зависимости:

Коэффициент полинома	Значение
a_2	$9,4649 \cdot 10^{-2}$
a_3	$2,3127 \cdot 10^{-7}$
a_4	$-8,1662 \cdot 10^{-7}$
a_5	$1,3268 \cdot 10^{-9}$
a_6	$-6,6876 \cdot 10^{-13}$

Таким образом, энергия активации, определяемая по зависимости (3) с учетом внесенных поправок, представляется выражением

$$A = K\gamma \cdot 10^{-3} \left(a_1T + \frac{a_2T^2}{2} + \frac{a_3T^3}{3} + \frac{a_4T^4}{4} + \frac{a_5T^5}{5} \right) \Big|_{T_1}^{T_2}. \quad (5)$$

При пластическом деформировании заготовок для заварки (залечивания) дефектов-трещин, волосовин требуется создать на поверхности контакта необходимую энергию активации за счет граничных условий, степени и скорости деформации, температуры и геометрии инструмента. При этом условие схватывания контактных поверхностей может быть определено показателем схватывания, как отношением удельной работы активации к удельной работе формоизменения:

$$\Psi_{\text{сх}} = A/B_{ij}. \quad (6)$$

При значениях $\Psi_{\text{сх}} \leq 1$ наступает схватывание поверхностей микродефектов-трещин деформируемой заготовки в тех зонах, где выполняется это условие.

Из выражения (5) можно сделать вывод, что работа активации в основном зависит от теплового состояния

заготовки при деформировании и связанным с ним ее напряженно-деформированным состоянием (НДС), так как при пластическом деформировании выделяется определенное количество теплоты, в результате температура заготовки повышается. Процесс полугорячего выдавливания создает благоприятные условия для залечивания микродефектов и удельная работа активации, необходимая для схватывания поверхностных дефектов, в этом случае оказывается значительно меньшей по сравнению с холодным выдавливанием. Для процесса полугорячего выдавливания удельная работа формоизменения i -го элемента, очага пластической деформации, согласно разработанной теории расчета силовых характеристик и НДС процессов холодной и полугорячей штамповки выдавливанием на базе вариационного подхода [4] определяется с учетом влияния основных технологических факторов (температуры, степени и скорости деформации, геометрии инструмента) по формуле

$$B_{ij} = \frac{I_{ij}t}{V_{ij}}, \quad (7)$$

где I_{ij} – мощность i -го элемента; t – время деформирования; V_{ij} – объем i -го элемента.

Выводы. Параметры режима полугорячей штамповки выдавливанием деталей (полуфабрикатов) требуемого качества из заготовок сортового проката с возможной дефектностью обоснованно прогнозируются при анализе процесса выдавливания путем их подбора и оценки критерия – показателя схватывания контактных поверхностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов В.П., Ренне И.П., Рогожин В.М. Холодное выдавливание полых цилиндрических изделий из малоуглеродистой стали – Тула: Приокское книжное издательство, 1976. – 72 с.
2. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением – М.: Металлургия, 1984. – 144 с.
3. Каракозов Э.С. Соединение металлов в твердой фазе. – М.: Металлургия, 1976. – 263 с.
4. Лялин В.М., Петров В.И., Журавлев Г.М. Основы технологии объемной и листовой полугорячей штамповки – Тула: Машиностроение – ТулГУ, 2002. – 162 с.

© 2012 г. В.М. Лялин
Поступила 26 мая 2012 г.