

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ непрерывно-литых заготовок

Важнейшей задачей для предприятий литейного производства является их техническое перевооружение, повышение производительности машин и качества литых заготовок на базе освоения новых технологий. В настоящее время в мире поддерживается тенденция ежегодного прироста выплавки цветных сплавов на 4,5–5 %, что касается и медных сплавов. Этим объясняется повышение требований к качеству непрерывно-литых заготовок, которые не должны иметь дефектов в виде и микротрещин как на поверхности, так и в объеме заготовки.

В литературе имеются публикации, описывающие влияние технологических параметров непрерывного литья на качество заготовок из цветных сплавов. Здесь для обеспечения качества непрерывного литья и обеспечения стабильности процесса приводятся ориентировочные технологические параметры для получения качественных заготовок. Обоснование выбора технологических параметров чаще всего базируется на интуитивных малофакторных методах оценки качества заготовок при непрерывном литье. Поэтому возникает необходимость исследования влияния повреждаемости непрерывно-литой заготовки на ее качество.

Данная разработка включена в тематический план НИР НТУ «ХПИ» на основании приказа Министерства образования и науки Украины от 27.10.2006 г. № 732.

В современной механике для описания процессов скрытого повреждения материалов используется концепция постоянного накопления повреждаемости в материалах. Явление поврежденности представляет собой необратимый процесс накопления микротрещин и других дефектов в материалах.

Поэтому необходимо исследовать влияние длительности цикла на повреждаемость при различных формах движения заготовки. Для этого используем: базовую циклограмму движения заготовки; циклограммы движения заготовки с учетом преодоления силы трения покоя при прямом и отрицательном движении заготовки. Эти циклограммы приведены на рис. 1.

Анализ и сравнение экспериментальных и расчетных данных позволяет сделать вывод об удовлетворительной точности найденных коэффициентов для определения параметра повреждаемости с помощью уравнений Бейли — Нортон и Роботнова — Качанова.

Для расчетов параметра повреждаемости используем программный комплекс SCC, разработанный в НТУ «ХПИ» на кафедре «Системы управления». Расчет повреждаемости будем определять на участке непрерывно-литой заготовки, на которой снята теплота перегрева, распо-

ложенном после фронта кристаллизации на величину шага $L = V_{ДВ} t_{ДВ}$. В начальный момент затвердевания заготовки затвердевшую корку будем рассматривать как тонкую оболочку, заполненную расплавом. Диаметр оболочки — 28 мм. Материал оболочки — бронза марки Бр. О10Ц2. В связи с термоконвективным расслоением расплава в кристаллизаторе корка заготовка имеет неравномерную толщину (от 0,75 мм на верхней до 1,5 мм на нижней образующей линии заготовки). Оболочка находится под неосесимметричным внутренним давлением и нагружена усилием растяжения от работы механизма извлечения заготовки $N = 0,4$ МПа. Поверхность оболочки считается нагруженной тангенциальными силами, которые моделируют силы трения при ее извлечении. Коэффициент трения $\alpha = 0,3$.

В табл. 1 в качестве исходных данных представлены технологические характеристики циклов для базовой циклограммы работы ГМНЛЗ, представленной на рис. 1, а (напряжение в заготовке, длительность движения заготовки, длительность паузы).

Деформация ползучести и повреждаемость заготовки на длительности цикла описываются следующими выражениями:

$$\dot{\epsilon}^0 = B g_n(M) \frac{(\sigma_0)^n}{(1 - \omega^0)^m}, \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}^0 = B g_n(M) \frac{(\sigma_0)^n}{(1 - \omega^0)^m}, \quad (2)$$

где $\omega^0(t_0 = 0) = 0$ — повреждаемость в момент времени, равный нулю;

$\omega^0(t = t_*) = \omega_*$ — разрушение заготовки в момент времени, равный t_* ;

$g_n(M)$ — функция асимметрии цикла напряжений (рис. 2).

На основе выражений (1)–(3) определяем зависимости повреждаемости заготовки для различных режимов. На рис. 3 приведены зависимости роста параметра повреждаемости для трех режимов процесса непрерывного литья, представленных в табл. 1, для базовой циклограммы, в которой не учитывается процесс преодоления силы трения покоя.

О.Н. Хорошилов, УИПА, г. Харьков,
О.И. Пономаренко, НТУ «ХПИ», г. Харьков

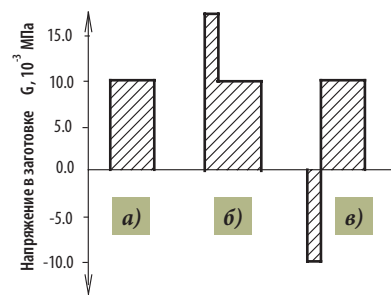


Рис. 1. Виды циклограмм, рассматриваемые при исследовании повреждаемости заготовки:

- а) базовая циклограмма движения заготовки;
- б) циклограмма движения заготовки с учетом дополнительного усилия на преодоление СТП при прямом движении;
- в) циклограмма движения заготовки с учетом дополнительного усилия на преодоление СТП при обратном скольжении заготовки

Таблица 1
Исходные данные для расчета повреждаемости заготовки при работе ГМНЛЗ по базовой циклограмме без учета дополнительных напряжений действующих на заготовку в процессе преодоления силы трения покоя (СТП).

Длительность цикла $\tau_{цик}$, с	Длительность движения заготовки, $\tau_{обг}$, с	Длительность паузы, $\tau_{пау}$, с	Напряжение в заготовке, S , МПа
16	4	12	0,4
12	3	9	
8	2	6	

Учитывая тот факт, что повреждаемость затвердевающей заготовки растет от цикла к циклу, то по уравнению (3), учитывая данному обстоятельству, определяем повреждаемость заготовки за среднее время ее движения в кристаллизаторе, которое составляет в среднем 500 с.

Из рис. 3 следует, что для трех различных режимов непрерывного литья с длительностью цикла 8; 12 и 18 с без учета приложения дополнительного усилия для преодоления СТП рост параметра повреждаемости накладывается на одну

зависимость — 1, которая зависит от длительности пребывания заготовки в кристаллизаторе.

На следующем этапе исследований определим повреждаемость заготовки при учете усилий преодоления СТП при прямом движении заготовки, при котором возникают растягивающие напряжения. Данный характер движения заготовки представлен циклограммой, представленной на рис. 1, б.

На рис. 4 приведены зависимости изменения параметра повреждаемости для трех режимов процесса непрерывного литья, представленных в табл. 2, для базовой циклограммы, в которой учитывается процесс преодоления СТП при прямом движении заготовки в кристаллизаторе.

Результаты изменения параметра повреждаемости заготовки при учете увеличения усилия извлечения заготовки на преодоление силы трения покоя представлены на рис. 4.

Зависимости, представленные на рис. 4, показывают, что чем больше длительность цикла при движении заготовки, тем меньше параметр повреждаемости, а чем меньше длительность цикла, тем интенсивнее растет параметр повреждаемости.

Таблица 2

Исходные данные для расчета повреждаемости заготовок для трех режимов процесса непрерывного литья заготовок с различной длительностью цикла (преодоление СТП происходит при прямом движении заготовки — при растяжении)

Длительность преодоления силы трения покоя $t_{СПП}$, с	Напряжение отрицательного скольжения $S_{отр}$, МПа	Длительность цикла $t_{ц}$, с	Длительность движения заготовки $t_{об}$, с	Длительность паузы $t_{п}$, с	Напряжение в заготовке S , МПа
0,5	0,5	16	4	12	0,4
		12	3	9	
		8	2	6	

Так, повреждаемость заготовки при длительности цикла 16 с за 500 с составляет 0,175 (зависимость 1), а повреждаемость при длительности цикла 8 с составляет 0,2 (зависимость 3).

Таким образом, определено, что преодоление силы трения покоя при прямом движении заготовки (без использования отрицательного скольжения) обуславливают увеличение параметра повреждаемости при уменьшении длительности цикла движения заготовки, и наоборот. Далее определим характер повреждаемости заготовки при учете усилий

$$g_n(M) = \int_0^1 \left(1 + M \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{\sin(\pi k / 2)}{\pi k} \cos \left(\frac{2\pi k}{t_{ц}} t_{дв} \right) - \frac{\cos(\pi k / 2) - 1}{\pi k} \sin \left(\frac{2\pi k}{t_{ц}} t_{дв} \right) \right) \right\} \right)^n d\xi$$

Рис. 2. Функция асимметрии цикла напряжений



Рис. 3. Зависимость от скорости движения заготовки параметра ее повреждаемости без учета направленности ее движения во время преодоления СТП и при длительностях цикла, равных 8,0; 12,0 и 16,0 с

Рис. 4. Зависимость от длительности цикла изменения параметра повреждаемости заготовки, движущейся со скоростью 0,02 м/с при прямой направленности ее движения во время преодоления СТП: 1—3 — длительность цикла работы ГМНЛЗ, соответственно, 16,0; 12,0 и 8,0 с

Рис. 5. Зависимость от длительности цикла параметра повреждаемости заготовки, движущейся со скоростью 0,02 м/с при использовании обратной направленности ее движения во время преодоления СТП: 1—3 — длительность цикла работы ГМНЛЗ, соответственно, 16,0; 12,0 и 8,0 с

преодоления СТП при отрицательном скольжении заготовки, при котором возникают сжимающие напряжения. Данный характер движения заготовки представлен циклограммой, представленной на рис. 1, б.

В табл. 3 представлены характеристики трех режимов работы ГМНЛЗ с различной длительностью цикла, по циклограмме, представленной на рис. 1, в.

Результаты изменения параметра повреждаемости представлены на рис. 5. Зависимости, представленные на рис. 5, показывают, что чем больше длительность цикла при движении заготовки, тем больше величина параметра повреждаемости, а чем меньше длительность цикла, тем меньшую величину имеет параметр повреждаемости за 500 с.

Так, параметр повреждаемости заготовки при длительности цикла 16 с за 500 с составляет 0,135 (зависимость 1), а повреждаемость при длительности цикла 8 с составляет 0,09 (зависимость 3).

Таким образом, определено, что преодоление силы трения покоя при отрицательном скольжении заготовки обуславливает увеличение параметра повреждаемости при увеличении длительности цикла движения заготовки.

На основе экспериментальных данных, представленных на рис. 4 и 5, были по-

строены зависимости повреждаемости заготовки от длительности цикла для технологических процессов без применения и с применением отрицательного скольжения (рис. 6).

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6, показывает, что для технологического процесса непрерывного литья без применения отрицательного скольжения уменьшение длительности цикла приводит к повы-

Таблица 3

Исходные данные для расчета повреждаемости заготовок для трех режимов процесса непрерывного литья заготовок с различной длительностью цикла при использовании отрицательного скольжения (преодоление СТП происходит при обратном движении заготовки — при сжатии)

Длительность отрицательного скольжения $t_{отр}$, с	Напряжение отрицательного скольжения $S_{отр}$, МПа	Длительность цикла $t_{ц}$, с	Длительность движения заготовки $t_{об}$, с	Длительность паузы $t_{п}$, с	Напряжение в заготовке S , МПа
0,5	-0,5	16	4	12	0,4
		12	3	9	
		8	2	6	

шению повреждаемости заготовки, так, при уменьшении длительности цикла с 16,0 до 8,0 с параметр повреждаемости возрастает от значения $\omega = 0,175$ до $\omega = 0,2$, т. е. в 1,14 раза. Для процесса непрерывного литья с применением отрицательного скольжения уменьшение длительности цикла приводит к снижению повреждаемости заготовки, так, при уменьшении длительности цикла с 16,0 до 8,0 с параметр повреждаемости снижается от значения $\omega = 0,135$ до $\omega = 0,085$, т. е. в 1,59 раза.

Сравнение двух способов непрерывного литья, обусловленных циклограммами, представленными на рис. 1, а и 1, в, позволяет сде-

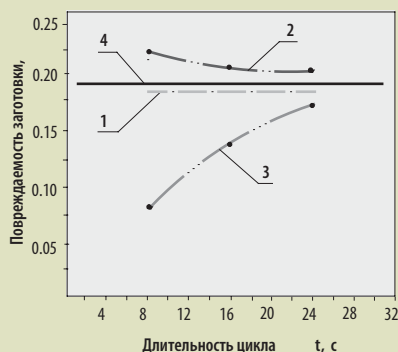


Рис. 6. Влияние длительности цикла и применение отрицательного скольжения заготовки диаметром 0,08 м на параметр ее повреждаемости:

- 1 — расчет повреждаемости заготовки без учета усилий, возникающих при прямом и обратном направлениях ее движения;
- 2 — зависимость повреждаемости заготовки для технологического процесса с применением отрицательного скольжения;
- 3 — зависимость повреждаемости заготовки для технологического процесса без применения отрицательного скольжения;
- 4 — прямая заданного значения повреждаемости заготовки

лать выводы о том, что обратное движения заготовки в момент преодоления СТП позволяет снизить уровень повреждаемости в 1,3 раза при $t_{ц} = 16$ с, в 1,65 раза при $t_{ц} = 12$ с, в 2,35 раза при $t_{ц} = 8$ с.

Таким образом, в данной статье выявлены и исследованы зависимости повреждаемости заготовки от длительности цикла и характера движения заготовки в момент преодоления силы трения покоя. Определено, что различные направления движения заготовки (прямое — зависимость 3 и обратное — зависимость 2) при преодолении СТП обуславливают различные зависимости параметра повреждаемости заготовки от длительности цикла. Определено, что без учета дополнительных усилий преодоления СТП для разных длительностей цикла параметр повреждаемости заготовки был неизменным — зависимость 1.

Характер изменения зависимости 2 показал, что снижение длительности цикла обуславливает снижение параметра повреждаемости заготовки при использовании отрицательного скольжения. ☺

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ БЛОК-КАРТЕРОВ ДВС

Ученые Национального технического университета «ХПИ» провели серию исследований для обеспечения качества литых деталей ДВС сложной геометрической конфигурации по критерию функциональной и параметрической надежности с целью идентификация брака литых деталей ДВС, выявления «узких» мест в конструкции детали, моделирования напряженного состояния литых деталей и т. д. По результатам исследований были разработаны рекомендации по стабилизации характеристик металла, снижению металлоемкости и повышению качества данного типа отливок.

О.В. Акимов, А.П. Марченко, В.И. Алехин,
НТУ «ХПИ», г. Харьков

Совершенствование тактико-технических характеристик двигателей внутреннего сгорания (ДВС) невозможно без глубокой модернизации их конструкции, будь то двигатель как готовое изделие, его узлы или отдельные детали. Как показывает отечественный и мировой опыт, совершенной может быть лишь конструкция, в основу проектирования которой заложены технологические аспекты изготовления деталей и узлов двигателя. Именно такой подход обеспечивает оптимальные показатели ДВС. Расчетные и экспериментальные методы определения конструктивной прочности, надежности, сборки, монтажных нагрузок и ресурса в обязательном порядке должны быть согласованы с теми закономерностями, которые определяют протекающие при изготовлении деталей технологические процессы — фазовый переход, усадка, остаточные литейные напряжения и т. п. В первую очередь это относится к вопросам получения литых деталей двигателей (80–90 % литых деталей по массе в конструкции ДВС). Уровень согласования конструкторского и технологического подходов предполагает обязательное наличие компромисса между конструкторским проектированием деталей и проектированием и реализацией технологического процесса их изготовления, что является определяющим фактором

получения качественных деталей, обеспечивающих достижение заданных эксплуатационных характеристик, надежности и ресурса ДВС. Технологические аспекты должны быть обязательно учтены при разработке и применении САПР для двигателей. Практика отечественного двигателестроения до настоящего времени не достигла этого жизненно необходимого для многих предприятий компромисса.

Современное состояние вопроса конструкторского проектирования деталей ДВС и САПР технологической подготовки производства на одном из определяющих этапах производства деталей ДВС — изготовления литых деталей двигателей — не позволяет говорить об эффективном достижении компромисса, зачастую в реальном производстве речь может идти о глубоких противоречиях. Причина этого — неизученность многих процессов, протекающих во время формирования отливки и определяющих, в конечном счете, реальную, а не теоретически спроектированную конструкцию детали, а также точность геометрических параметров, которая является одним из основных показателей качества литых деталей ДВС. Не определено влияние полей отклонений показателей качества литых деталей ДВС на параметрическую и функциональную надежность деталей ДВС. Это, в