

УДК 539.431: 621.743.43

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-24-27

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ ПРИ КОМНАТНОЙ И ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ

В. И. Добровольский, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. В. Добровольский, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Наряду с концентрацией напряжений и масштабным эффектом качество поверхностного слоя является одним из основных факторов, определяющих циклическую прочность и долговечность элементов конструкций. Существенное влияние на выносливость оказывают возникающие в поверхностных слоях при механической обработке остаточные напряжения. Необоснованное назначение режимов обработки, приводящей к возникновению больших остаточных растягивающих напряжений, прижогов и поверхностных микротрещин, приводит к значительному снижению циклической прочности.

Шероховатости поверхностей элементов конструкций и стандартных образцов, используемых для определения характеристик циклической прочности материалов, как правило, отличаются между собой. Наиболее обоснованным параметром, характеризующим состояние поверхностей стандартного (эталонного) образца и элемента конструкции, является высота микронеровностей, представляющих своего рода микроконцентраторы напряжений. Наиболее чувствительными к шероховатости поверхности являются высокопрочные стали ограниченной пластичности.

Подавляющее большинство проводимых исследований посвящено изучению влияния шероховатости поверхности образцов или деталей на пределы неограниченной долговечности. Стремление улучшить технико-экономические показатели за счет интенсификации технологических и рабочих параметров (давлений, температур, агрессивности сред) ряда ответственных конструкций (кузнечных штампов, стволов стрелкового и артиллерийского оружия, энергетического оборудования) приводит к их ограниченной долговечности при эксплуатации. Вместе с тем исследований поверхностного фактора при ограниченной долговечности элементов конструкций выполнено недостаточно. В связи с этим в данной работе изучается влияние шероховатости поверхности на циклическую прочность, ограниченную долговечность и поверхностный фактор стали 4Х5МФС в условиях комнатной и повышенной (450 °С) температур.

Ключевые слова: кузнечные штампы, шероховатость гравюры, оценка поверхностного фактора при комнатной и повышенной температурах.

Для повышения стойкости штампов объемного деформирования металлов рабочие поверхности гравюр и места их сопряжений подвергаются при изготовлении шлифованию, а в ряде случаев – полированию. В процессе эксплуатации штампов шероховатость поверхности гравюр увеличивается в результате износа, разгара, агрессивного воздействия смазки и других причин [1, 2]. Использование штампов с чрезмерной шероховатостью приводит к недопустимой адгезии заготовки с гравюрой и существенно затрудняет извлечение штамповки. Восстановление чистоты поверхности гравюр до приемлемого состояния проводится при ремонте штампов. Вместе с этим оценить количественно влияние шероховатости гравюр на стойкость штам-

пов по результатам их эксплуатации крайне сложно.

Природа чувствительности материалов к шероховатости поверхности и концентрации циклических напряжений является одной и той же. Микронеровности поверхности, представляющие собой своего рода концентраторы напряжений, приводят к появлению повышенных локальных напряжений и, как следствие этого, способствуют более раннему образованию магистральных трещин и ускоренному разрушению элементов конструкций. Подавляющее большинство проводимых исследований посвящено влиянию шероховатости поверхности образцов или деталей на пределы неограниченной выносливости при долговечностях, превышающих 10^7 циклов

нагрузки [3]. Вместе с этим штатная долговечность ряда ответственных конструкций (кузнечных штампов, стволов стрелкового и артиллерийского оружия, энергетического оборудования) существенно меньше указанной выше. Работ по изучению поверхностного фактора применительно к ограниченной долговечности такого рода конструкций выполнено крайне недостаточно. В связи с этим в данной работе изучается влияние шероховатости поверхности на циклическую прочность, долговечность и поверхностный фактор стали 4X5MФС в условиях комнатной и характерной для штампов объемного деформирования металлов повышенной (450 °С) температуры. Режимы термической обработки заготовок для образцов стали 4X5MФС соответствовали рекомендациям [4] для крупных штампов объемного деформирования: температура закалки 1040 °С; закалочная среда – воздух; температура отпуска – 630 °С; время отпуска – 240 мин. Предварительно проводили испытания на растяжение цилиндрических десятикратных образцов диаметром 10 мм с целью определения механических характеристик при комнатной температуре ($\sigma_{0,2} = 1150$ МПа; $\sigma_b = 1400$ МПа; сопротивление отрыву $S_k = 2140$ МПа; $\delta = 13,7$ %; $\psi = 39,5$ %) и 450 °С ($\sigma_{0,2} = 865$ МПа;

$\sigma_b = 1126$ МПа; $S_k = 1830$ МПа; $\delta = 11,2$ %; $\psi = 44,6$ %). Нагрев образцов осуществлялся пропусканием электрического тока. Контроль температуры образцов осуществлялся термопарами, присоединенными к потенциометру ПСР 1-03 [5]. Для усталостных испытаний изготавливали окончательным шлифованием и фрезерованием в поперечном направлении плоские эталонные ($R_z = 2$ мкм) и шероховатые ($R_z = 30$ мкм) образцы высотой сечения 5 мм, шириной 10 мм, длиной рабочей части 40 мм. Трудоемкие усталостные испытания образцов проводили по разработанной методике [6] на созданной оригинальной установке [7] при симметричном нагружении с частотой 0,15 Гц в условиях чистого плоского изгиба. Эталонным и шероховатым образцам задавали амплитуды напряжений σ , σ_F и фиксировали числа циклов N_T до образования трещин размером 0,8...1 мм в диапазоне $3 \cdot 10^2 \dots 10^5$ нагружений. Полученные результаты усталостных испытаний представлены на рис. 1, а, б. Видно, что увеличение шероховатости поверхности приводит к существенному снижению пределов ограниченной выносливости σ_F и долговечности N_T стали 4X5MФС в условиях комнатной и повышенной (450 °С) температур.

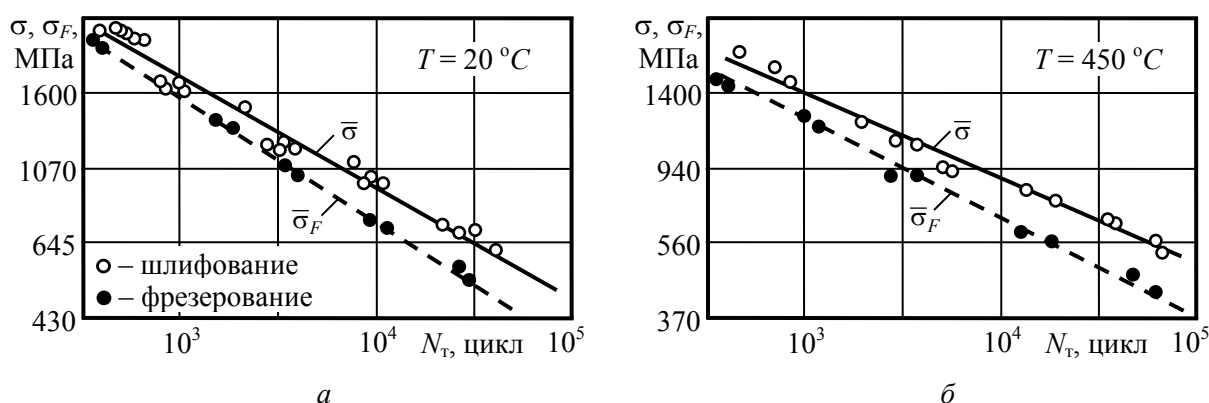


Рис. 1. Кривые усталости шлифованных и фрезерованных образцов стали 4X5MФС при комнатной (а) и повышенной (450 °С) (б) температурах

При количественной оценке циклической прочности элементов конструкций влияние шероховатости учитывается поверхностным фактором, определяемым по силовому, деформационному или энергетическому критериям [8]. В данной работе использовался си-

ловой подход. Поверхностный фактор $\epsilon_F = \bar{\sigma}_F / \bar{\sigma}$ определялся по результатам усталостных испытаний как отношение пределов ограниченной выносливости шероховатых $\bar{\sigma}_F$ и эталонных $\bar{\sigma}$ образцов при рассматриваемой долговечности N_T (рис. 2, а, б).

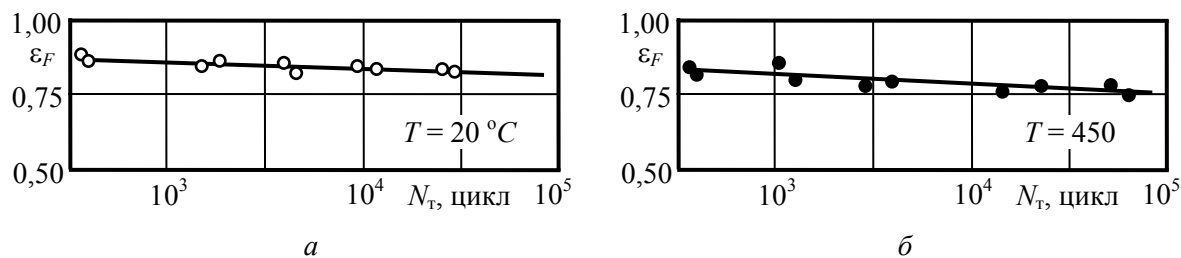


Рис. 2. Изменение поверхностного фактора шероховатых образцов стали 4X5MФC при комнатной (а) и повышенной (450 °С) (б) температурах в зависимости от долговечности N_T

Результаты работы показывают, что увеличение шероховатости поверхности приводит к значительному снижению пределов ограниченной выносливости, долговечности и поверхностного фактора стали 4X5MФC в диапазоне долговечностей $N_T = 3 \cdot 10^2 \dots 10^5$ циклов в условиях комнатной и повышенной (450 °С) температур.

Библиографические ссылки

1. Штампы для горячего деформирования металлов / М. А. Тылкин, Д. И. Васильев, А. М. Рогалев, А. П. Шкатов, Е. И. Бельский. М. : Высш. шк., 1977. 496 с.
2. Тылкин М. А., Яловой Н. И., Полухин М. И. Температура и напряжения в деталях металлургического оборудования. М. : Высш. шк., 1970. 427 с.
3. Серенсен С. В., Козаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М. : Машиностроение, 1985. 488 с.
4. Кучерявый Б. П. Руководящий технический материал РТМЗ-869-75. Материалы для штампов горячего деформирования. Назначение,ковка и термическая обработка. М. : Стандарты, 1977.
5. Добровольский В. И., Добровольский С. В. Деформационные методы оценки малоциклового прочностии. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2005. 402 с.
6. Добровольский В. И., Кучерявый Б. П., Пряхин В. В. Руководящий технический материал РТМЗ-1637-84. Материалы для штампов. Методы определения прочностии при механической малоцикловогоусталости. М. : Стандарты, 1984. 120 с.
7. Авт. св. № 697875. Установка для испытания образцов на малоцикловоюусталость при чистом изгибе / В. И. Добровольский // Бюлл. изобр. М. : Стандарты, 1979. № 42.
8. Добровольский С. В., Добровольский В. И. Закономерностии подобия малоциклового разрушения модели и детали. Ижевск: ИжГТУ, 2006. 243 с.

References

1. Tylkin M. A., Vasil'ev D. I., Rogalev A. M., Shkatov A. P., Bel'skij E. I. (1977). *Shtampyy dlja gorjachego deformirovaniya metallov* [Stamps for hot metal deformation]. Moscow: Vysshaja shkola (in Russ.).
2. Tylkin M. A., Jalovoj N. I., Poluhin M. I. (1970). *Temperatura i naprjazhenija v detaljah metallurgicheskogo oborudovanija* [Temperature and stresses in the details of metallurgical equipment]. Moscow: Vysshaja shkola (in Russ.).
3. Serensen S. V., Kogaev V. P., Shnejderovich R. M. (1985). *Nesushhaja sposobnost' i raschety detalej mashin na prochnost'* [Carrying capacity and calculation of machine parts for durability]. Moscow: Mashinostroenie (in Russ.).
4. Kucherjavj B. P. (1977). *Rukovodjashhij tehničeskij material RTM3-869-75. Materialy dlja shtampov gorjachego deformirovaniya. Naznachenie, kovka i termičeskaja obrabotka* [Guidance material RTM3-869-75. Materials for hot deformation stamps. Purpose, forging and heat treatment]. Moscow: Standarty (in Russ.).
5. Dobrovolsky V. I., Dobrovolsky S. V. (2005). *Deformacionnye metody ocenki malociklovoj prochnosti* [Deformation methods for estimating low-cycle strength]. Izhevsk: IzhGTU (in Russ.).
6. Dobrovolsky V. I., Kucherjavj B. P., Prjahn V. V. (1984). *Rukovodjashhij tehničeskij material RTMZ-1637-84. Materialy dlja shtampov. Metody opredelenija prochnosti pri mehanicheskoj malociklovoj ustalosti* [Leading technical material RTMZ-1637-84. Materials for stamps. Methods for determining the strength at mechanical low-cycle fatigue]. Moscow: Standarty (in Russ.).
7. Dobrovolsky V. I. Patent SU 697875, No 42. 1979.
8. Dobrovolsky S. V., Dobrovolsky V. I. (2006). *Zakonomernosti podobija malociklovogo razrusheniya modeli i detail* [Patterns of similarity of low-cycle destruction of a model and a part]. Izhevsk: IzhGTU (in Russ.).

V. I. Dobrovolsky, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

S. V. Dobrovolsky, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Influence of Surface Roughness on Cyclic Strength and Durability of Stamping Steel with Room and Increased Temperatures

The quality of the surface layer is one of the main factors, together with the stress concentration and the scale effect, which determine the cyclic strength and durability of the structural elements. A significant influence on endurance is exerted by residual stresses that arise in the surface layers during machining. Unreasonable designation of processing modes leads to the appearance of large residual tensile stresses, surface microcracks, a significant decrease in cyclic strength.

The roughness of the surfaces of structural elements and standard samples used to determine the characteristics of the cyclic strength of materials, as a rule, differ from each other. The most reasonable parameter characterizing the state of the surfaces of a standard (reference) sample and a structural element is the height of microroughness, which is a sort of stress microconcentrator. High-strength steel of limited ductility is the most sensitive to surface roughness.

The overwhelming majority of the studies carried out is devoted to the study of the influence of the surface roughness of samples or details on the limits of unlimited durability. The desire to improve the technical and economic performance due to the intensification of technological and operational parameters (pressures, temperatures, aggressiveness of the media) of a number of critical structures (forging dies, gun barrels and artillery weapons, power equipment) leads to their limited service life. At the same time, studies of the surface factor with limited longevity of structural elements are not enough. In this connection, we study the influence of surface roughness on the cyclic strength, limited durability, and the surface factor of 4X5MΦC steel under conditions of room temperature and high temperature (450 °C).

Keywords: forging stamps, roughness of engraving, evaluation of the surface factor at room and elevated temperatures.

Получено: 19.04.18