

solution showed some indications of potential problems. In terms of macro and micro shrinkage in optimized designs, the only areas of concern were the riser head and bottom pins. The casting appeared to be devoid of porosity. In the end, together with the foundry, it was decided not to consider the latter solution for production due to the high risk of production disruption. In other words, taking into account the human factor, the risk of porosity propagation from the riser to the casting body is too high. Finally, the results concerning the casting yield showed that, when used correctly, multi-purpose optimization can significantly increase the casting yield and thus reduce production costs.

References

1. On Modelling of Microstructure Formation, Local Mechanical Properties and Stress-Strain Development in Aluminium Castings, Proc. Int. Conf. On Modelling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes, MCWASP XII / I. L. Svensson [et al.]. – Vancouver BC, Canada, 2009. – P. 129–136.
2. Hattel, J. H. Fundamentals of Numerical Modelling of Casting Processes, 1st ed., Kgs. Lyngby: Polyteknisk Forlag, 2005.
3. Kokot, V. Integration and Application of Optimization Algorithms with Casting Process Simulation, Proc. Int. Conf. On Modelling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes, MCWASP X / V. Kokot, P. Bernbeck. – Destin, Florida. – may, 2003. – P. 487–494.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ДЕФОРМАЦИИ СЛИТКА НА СТРУКТУРУ ШАРИКОПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

В. С. Путеев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Одним из важнейших составляющих практически всех механизмов являются подшипники, изготавливаемые из подшипниковых марок сталей. В сталеплавильном производстве основные эксплуатационные характеристики изделий из подшипниковых сталей определяют центральная пористость, подсадочная ликвация, развитие и образование карбидной ликвации при производстве непрерывно литой заготовки (НЛЗ). Для изготовления подшипников наибольшее распространение получила высокоуглеродистая хромистая сталь (~ 1,05 % углерода, 0,4–0,5 % хрома), преимущественно используемая во всем мире. В шарикоподшипниковых сталях считается недопустимым наличие центральной пористости с баллом выше 2,0, что служит основанием для забракования всех партий прутков, соответствующих контролируемому образцу. Поскольку в данной стали требуется высокая однородность физико-химических свойств, то присутствие в ней ликвационных дефектов также ограничивается, ликвация с баллом 2,0 считается недопустимой. Снижение балла карбидной неоднородности особенно актуально для производства подшипниковой стали методом непрерывной разливки.

Целью работы является анализ применения режимов мягкого обжата на образование и развитие карбидной неоднородности в процессе разливки подшипниковой стали на машине непрерывного литья заготовки (МНЛЗ).

Непрерывнолитые заготовки в сравнении со слитком отлитым в изложницу характеризуются мелкодендритной структурой, менее развитой химической неоднородностью, более равномерным распределением неметаллических включений и газов. Однако проблема структурной, химической, физической неоднородности в заготовках непрерывной разливки все еще является открытым вопросом.

В течение последних десятилетий накоплен обширный опыт по использованию внешних динамических воздействий на затвердевающие слитки и непрерывнолитые заготовки. К числу методов внешних воздействий, прошедших промышленные или опытные испытания, можно отнести следующий метод «мягкого» обжатия в конце периода затвердевания.

Например, экспериментальные исследования на заводе «Сандвик Стил» (Швеция) выполнены для нержавеющей хромоникелемолибденовой стали (с ультранизким содержанием углерода), разливаемой на блюмы сечением 265×265 мм или 265×265 мм на криволинейной МНЛЗ. Скорость движения заготовки изменялась в пределах 0,81–0,89 м/мин, а общая величина обжатия – 4–7,1 мм. Обжатие осуществляли тремя парами роликов, расположенными на расстоянии 17,7, 19,8 и 22 мм от мениска. Установлено, что для выполненных экспериментов существуют определенные оптимальные значения величины обжатия и скорости вытяжки, обеспечивающие максимальное снижение осевой пористости (в 1,5–3 раза по разным шкалам). По существу эти результаты подтверждают тот факт, что определяющим моментом с точки зрения эффективности метода динамического «мягкого» обжатия на подавление осевой пористости является взаимное положение границы жидкой лунки и места приложения обжатия.

На заводе «Чита Плант» (Япония) выполнены комплексные исследования по изучению влияния динамического «мягкого» обжатия круглых заготовок диаметром 350 мм из подшипниковой стали. При этом исследования проводились для вертикальной МНЛЗ при скорости разлива на уровне 0,40–0,65 м/мин, а обжатие осуществляли с помощью специальных роликов. В ходе исследований оценивали углеродную ликвацию, угол раскрытия V-образной ликвации, макроструктуру, внутренние трещины как в литом металле, так и прокатанной сортовой заготовке. Установлено, что «мягкое» обжатие круглой заготовки практически полностью подавляет осевую углеродную ликвацию: увеличение содержания углерода в центре заготовки составляет 0,05–0,07 %, в то время как в заготовке без «мягкого» обжатия оно составило 0,25–0,35 %.

Основным условием достижения высоких положительных результатов авторы считают обеспечение доли твердой фазы на уровне 0,40–0,45 в зоне начала обжатия при величине обжатия 1,6 % от диаметра. Увеличение доли твердой фазы свыше указанных пределов приводит к снижению эффекта подавления ликвации. Уменьшение доли твердой фазы менее 0,4 характеризуется формированием внутренних трещин. Что же касается поведения V-образной ликвации при «мягком» обжати, то однозначно подтвержден факт ее некоторого подавления при увеличении угла раскрытия на 10–15°.

Положительные результаты по подавлению осевой ликвации при использовании метода «мягкого» обжатия получены также и на заводе «СОЛЛАК» (Франция) при разливке блюмов сечением 260×320 мм из углеродистой стали.

В настоящее время на нескольких металлургических заводах Японии и Германии используется следующая модифицированная схема «мягкого» обжатия блюмов. Для создания благоприятных условий для приложения усилия и контроля степени обжатия на больших гранях заготовки предусматриваются специальные трапецеидальные приливы толщиной 5–12 мм. Эти приливы затем вдавливаются в заготовку в два или три этапа. Вместе с тем такая схема предполагает изменение геометрической формы кристаллизатора, а также геометрических размеров приливов в зависимости от места приложения обжатия, марки стали, условий охлаждения заготовки, места положения лунки жидкой фазы и пр. Альтернативным вариантом реализации этого метода на практике является использование в зоне «мягкого» обжатия валков с длиной бочки меньшей, чем длина грани непрерывного слитка. Например, на заводе «Ниппон

коккан» (Япония) для «мягкого» обжатия заготовки сечением 400×520 мм использовали валки с длиной бочки 250–300 мм, что позволило ослабить ликвацию и исключить появление внутренних трещин.

Таким образом, рассмотренные практические данные относительно эффективности метода динамического «мягкого» обжатия непрерывнолитых заготовок свидетельствуют о перспективности его применения для влияния на свойства стали при непрерывной разливке.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БОРА НА СВОЙСТВА КАТАНКИ

А. И. Пости

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Рассмотрены основные факторы, влияющие на прокаливаемость стали марки 20Г2Р после закалки и охлаждения в масле. Определены химические элементы, а также их процентное содержание в стали, позволяющие достичь необходимого уровня механических свойств в соответствии с требованиями различных потребителей. Приведены основополагающие факторы процесса прокатки, влияющие на формирование микроструктуры, которая, в свою очередь, также позволяет увеличить фактические значения механических свойств, в частности твердости, после закалки и охлаждения в масле.

Применение борсодержащих марок сталей – это современная общемировая тенденция. Ведущие заводы, выпускающие крепеж высоких классов прочности (8.8, 10.9), используют преимущественно борсодержащую сталь. Высокопрочный крепеж, производимый для автомобильной промышленности, выпускается в основном из борсодержащих марок сталей 20Г2Р, 30Г1Р, которые отличаются повышенной прокаливаемостью, что обеспечивает стабильные механические свойства при ее закалке в воде, масле. Высокая прокаливаемость достигается благодаря микролегированию бором и легированию марганцем.

Содержание мартенсита в микроструктуре стали после закалки обеспечивает высокую твердость за счет высокой скорости охлаждения и наличия свободного бора в структуре. У доэвтектоидной стали 20Г2Р кроме ряда преимуществ существуют и технологические трудности. К ним относится необходимость предотвращения связывания бора в нитриды при выплавке стали, так как на прокаливаемость стали оказывает влияние не весь присутствующий в стали бор, а только «эффективный» (твердорастворимый, не связанный в нитриды). Нарушение этого условия приводит к нестабильности их свойств и низкому качеству проката из-за невозможности получения необходимой твердости после закаливания.

Основным элементом, оказывающим ключевое влияние на величину «эффективного» бора, является азот. Образования нитридов бора в этом случае следует избегать, для чего в металл вводится титан, который обладает большим сродством к азоту, чем бор, и также образует нитриды в жидкой фазе. Обычно при выплавке стали с микродобавкой бора вводят титана в 4–5 раз больше (в виде ферротитана), чем содержание азота в стали, учитывая отношение атомных весов титана и азота, а также степень усвоения титана. Количество «эффективного» бора можно спрогнозировать на основе анализа термодинамического равновесия системы Fe–Al–Ti–B–N.