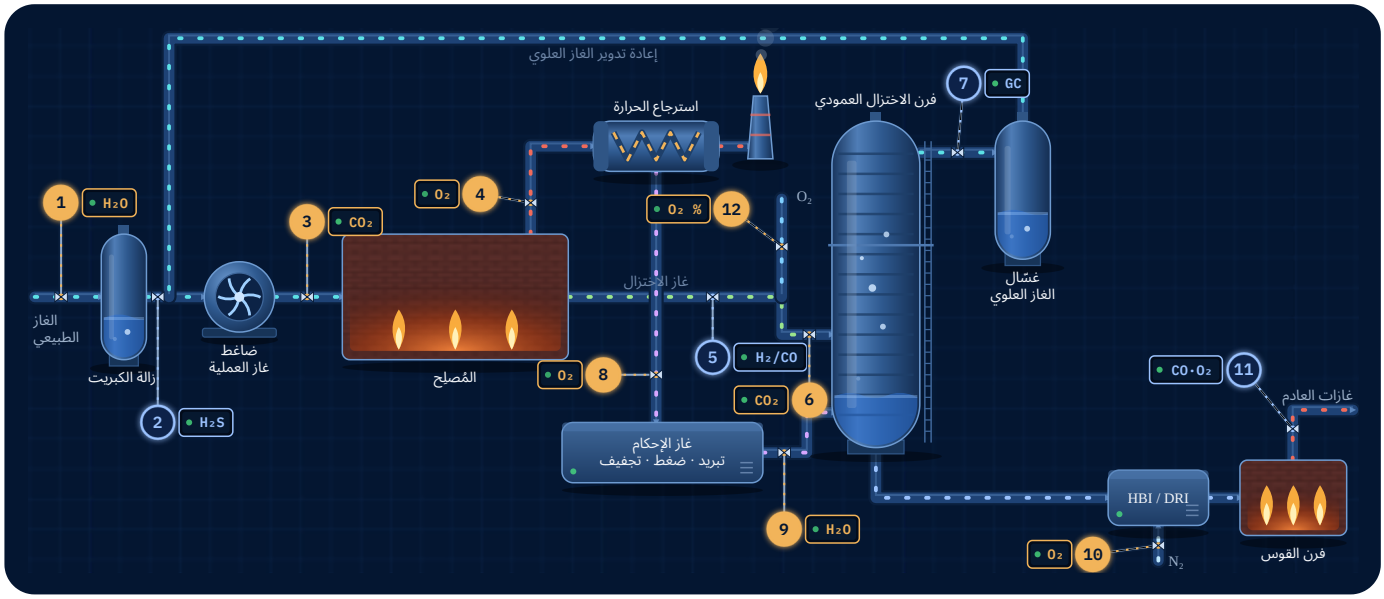
الحديد المختزل مباشرة وصلب فرن القوس: أين تُقاس الرطوبة و O_2 و CO_2

تابع الغاز من إزالة كبريت الغاز الطبيعي مروراً بالمُصلِح وفرن الاختزال حتى غاز الإحكام وفرن القوس الكهربائي. تعرض كل نقطة مرقّمة ما يُقاس، والقيمة النموذجية، وسبب أهميته، والمحلل المناسب.



جهاز YORK ○ نظام متكامل (يُورَّد عبر YORK)

كيف تعمل العملية

يحوّل مصنع الاختزال المباشر بالغاز الطبيعي كريات خام الحديد إلى DRI أو HBI بغاز H_2/CO ساخن، ثم يصهره فرن القوس الكهربائي صلباً. تحدد جودة الغاز درجة التمعدن واستهلاك الطاقة في كل خطوة. في الخليج تشغّل EMSTEEL وحدات من نوع HYL/Energiron، وتشغّل حديد وجندال شديد (صحار) وحدات من نوع MIDREX، ويستخدم مشروع الدقم مصنعاً من نوع HYL/Energiron جاهزاً للهيدروجين.

1. **إزالة الكبريت.** يُنظّف الغاز الطبيعي إلى نافذة كبريت ضيقة: ما يكفي لمنع ترسّب الكربون في المُصلِح، دون أن يُسمّم المحفز.
2. **الإصلاح.** يُضغط الغاز العلوي المعاد تدويره مع الغاز الطبيعي ويُسخَّن مسبقاً ويُصلَح على محفز النيكل. CO_2 و H_2O في التغذية هما المؤكسدان. أما مصانع نوع HYL/Energiron فتُصلح داخل الفرن نفسه.
3. **الاختزال.** يدخل غاز الاختزال الساخن، المعزَّز غالباً بحقن الأكسجين، فرنَ الاختزال عند الحزام ويختزل خام الحديد.
4. **إعادة تدوير الغاز العلوي.** يُغسل الغاز العلوي المستهلك ويُبرَّد ويُقسم إلى غاز عملية معاد تدويره ووقود للمُصلِح. وتزيل مصانع نوع HYL/Energiron غاز CO_2 بالأمين.
5. **غاز الإحكام والتخميل.** يحكم غاز المداخن المجفف أو النيتروجين الفرنَ ويحمي DRI و HBI الساخنين من إعادة الأكسدة.
6. **فرن القوس الكهربائي.** يُصهر DRI أو HBI. ويتحكم تحليل غازات العادم بالاحتراق اللاحق ويكشف تسرّب الماء.

النسخة التفاعلية المتحركة:
https://www.yorkinstrument.ae/ar/guides/dri-steel-measurement-points/

نقاط القياس

#	النقطة	يقيس	القيمة النموذجية / الحد	الحل المقترح
1	الغاز الطبيعي عند حدود المصنع	نقطة ندى الماء عند ضغط الخط	حسب عقد توريد الغاز (لا يوجد حد منشور لإمدادات مصانع الخليج)	DPT990-EX
2	الغاز منزوع الكبريت إلى المُصلِح	H_2S / الكبريت الكلي (ppmv)	نافذة 2–5 ppmv في تغذية المُصلِح (نوع MIDREX). سجّل الغاز المصاحب الخام 350–600 ppmv في أحد المصانع	نظام متكامل: محلل H_2S / كبريت كلي بمستوى ppm (كروماتوغراف بكاشف كبريت أو أشعة فوق بنفسجية)
3	غاز تغذية المُصلِح (الغاز العلوي + الغاز الطبيعي)	CO_2 (%)	نحو 15 % CO_2 (مع نحو 13 % H_2O) في غاز التغذية النموذجي من نوع MIDREX	DPSS-61XX; نظام متكامل: محلل CO_2 بالأشعة تحت الحمراء غير المشتتة داخل غرفة محللات مضغوطة
4	غازات مداخن المُصلِح	الأكسجين الزائد (%)	1–2 % O_2؛ غاز المداخن نحو 60–65 % N_2 و CO_2 15–18 % و H_2O 20–22 %	POA3500, DPSS-61XX, POA300, PGA530
5	الغاز المُصلَح (غاز الحزام)	H_2 و CO و CO_2 و H_2O و CH_4 ونسبة الجودة	الجودة $(H_2O+CO_2)/(H_2+CO) \leq 9.5$؛ نموذجياً H_2 55 % و CO 35 % (نوع MIDREX). في نوع HYL/Energiron تكون H_2/CO بين 3 و 5	نظام متكامل: كروماتوغراف غاز للعمليات أو مطياف كتلة
6	غاز الحزام إلى فرن الاختزال	CO_2 (%)	نحو 2 % في الغاز المُصلَح النموذجي؛ وسُجّل 2.8 % في أحد المصانع	DPSS-61XX; نظام متكامل: محلل CO_2 بالأشعة تحت الحمراء بنطاق منخفض، داخل غرفة محللات مضغوطة
7	الغاز العلوي الخارج من الفرن	H_2 و CO و CO_2 و CH_4	قيس في أحد المصانع: H_2 37 % و CO 19 % و CO_2 14 % و H_2O 21 %	نظام متكامل: كروماتوغراف غاز للعمليات أو مطياف كتلة
8	غاز الإحكام (الخامل) من غازات مداخن المُصلِح	O_2 (%)	غاز المداخن المصدر أقل من 2 % O_2؛ ويحدد المرخِّص مواصفة غاز الإحكام	POA3500, POA300, PGA530, PGA500-EX
9	غاز الإحكام الجاف بعد المجفف	نقطة الندى	تحددها مواصفة غاز الإحكام لدى المرخِّص	DPT810, DPT830
10	مجمّع النيتروجين للتخميل (نوع HYL/Energiron)	O_2 ونقطة الندى	استهلاك N_2 نحو 12 (DRI بارد) إلى 19 طن/Nm^3 (HBI)؛ النقاء حسب مواصفة المصنع	PGA500, POA200, DPT830
11	غازات عادم فرن القوس بعد الكوع	CO و CO_2 و O_2 و H_2 (و H_2O لتسرّب الماء)	يُبقي أحد أنظمة التحكم نسبة CO/O_2 بين 0.40 و 0.75	نظام متكامل: مسبار استخلاص مبرّد بالماء مع محللات NDIR وبارامغناطيسية وتوصيل حراري، أو ليزر في الموقع (TDLAS)
12	الأكسجين لحقن غاز الحزام ورماح فرن القوس	نقاء O_2 (%)	> 99.5 % من فصل الهواء المبرّد؛ < 95 % من VPSA	POA3500

قيم نموذجية من معايير ولوائح وأدبيات فنية منشورة. تبقى مواصفة العقد أو المرخِّص أو المصنع هي المرجع دائماً. توفر YORK الأنظمة المتكاملة عبر مصنع التكامل الشريك.

أهم المراجع

1. ENERGIRON technology: DRI-EAF production route using natural gas or H_2 — European Commission, Innovation Centre for Industrial Transformation
2. Quatravaux et al., Adaptation of the Rist operating diagram for the direct reduction shaft, Metals 11 (2021) 1953 — MDPI
3. MIDREX Process — Kobelco Technology Review No. 29
4. Krassnig et al., EAF post-combustion control by on-line laser-based off-gas measurement — Archives of Metallurgy and Materials 53(2), 2008